# Petrographische Untersuchungen am Gipskeuper und Lettenkeuper von Stuttgart

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften

dem Fachbereich Erdwissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
BERND SCHLENKER
aus Berlin

1971

1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547609_0045

# Petrographische Untersuchungen am Gipskeuper und Lettenkeuper von Stuttgart

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften

dem Fachbereich Erdwissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
BERND SCHLENKER
aus Berlin

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Juni 1970

| | | |
|---|---|---|
| Dekan | : | Prof. Dr. H. DACHS |
| 1. Berichterstatter | : | Prof. Dr. W. v. ENGELHARDT |
| 2. Berichterstatter | : | Prof. Dr. R. SCHÖNENBERG |

Inhaltsverzeichnis


| | | Seite |
|---|---|---|
| 1 | Zusammenfassung | 3 |
| 2 | Einleitung | 4 |
| 3 | Geologische Übersicht | 5 |
| 4 | Probennahme und Probenbeschreibung | 7 |
| 5 | Probenaufbereitung | 10 |
| 6 | Untersuchungsmethoden | 14 |
| 6.1 | Röntgenbeugung | 14 |
| 6.2 | Mikroskopie | 16 |
| 7 | Mineralbestand | 23 |
| 7.1 | Tonfraktionen | 23 |
| 7.2 | Mikroskopische Fraktionen | 33 |
| 8 | Untersuchungen an Gesamtgesteinen | 44 |
| 8.1 | Bestimmung der Karbonate | 44 |
| 8.2 | Zusätzliche Aufbereitungsversuche | 47 |
| 8.3 | Versuche und Folgerungen zu den bodenmechanischen Eigenschaften | 51 |
| 9 | Bemerkungen zur Verbreitung und Entstehung des Correnzits | 55 |
| 10 | Literatur | 62 |

## 1 Zusammenfassung

Es wurde die Petrographie von 45 Proben nach Aufteilung in Korngrößenklassen röntgenographisch und mikroskopisch unter besonderer Berücksichtigung der Tonminerale untersucht. Die Proben stammen im wesentlichen aus 2 Bohrungen im Stadtgebiet von Stuttgart. Sie enthalten 12 tonige und 13 mergelige Gesteine, 10 Karbonatgesteine (vorwiegend Dolomite), 8 gipshaltige Gesteine und 2 Sandsteine.

Zu Illit als Durchläufer treten im Gipskeuper wechselnde Mengen Corrensit und im Lettenkeuper Kaolinit. Daneben kommen geringe Mengen Chlorit vor, der nur im Lingula-Dolomit und im Schilfsandstein das Hauptmineral bildet.

Die mikroskopischen Fraktionen enthalten als Hauptbestandteil Aggregate, die im wesentlichen aus den gleichen Mineralen wie die Tonfraktionen bestehen. Dadurch treten mikroskopisch einheitliche Minerale wie Quarz und Feldspat zurück.

Aus den Eigenschaften der Aggregate, die bei der hier angewandten Methode nicht aufgeteilt werden konnten, ist zu schließen, daß das ursprünglich abgelagerte Sediment viel feinkörniger war als die heute bestimmbaren Korngrößenanalysen. Die ungünstigen bodenmechanischen Eigenschaften der Gesteine des Gipskeupers werden auf die Neigung zurückgeführt, beim Austrocknen und Wiederbefeuchten in lockere Massen aus körnigen Aggregaten zu zerfallen. Dieser Vorgang beruht zum großen Teil auf dem reversiblen Quellverhalten des Corrensits oder wird zumindest dadurch gefördert.

Der Corrensit hat sich im Germanischen Triasbecken auf Kosten anderer Tonminerale diagenetisch neugebildet, und zwar bevorzugt in salinar beeinflußten Horizonten, wahrscheinlich aufgrund der mit der Salinität einhergehenden erhöhten Magnesiumkonzentration.

## 2 Einleitung

Lettenkeuper (ku) und Gipskeuper ($km_1$) stellen die beiden untersten Schichtglieder des Germanischen Keupers dar. Sie kennzeichnen den Übergang von den rein marinen Ablagerungsbedingungen im Muschelkalk zu mehr kontinental beeinflußter Fazies. Sie sind im allgemeinen sehr schlecht aufgeschlossen, und so ist man für petrographische Untersuchungen in erster Linie auf Proben aus Bohrungen angewiesen. Als solche boten sich einige, zum Zweck von Baugrunduntersuchungen in Stuttgart niedergebrachte Versuchsbohrungen an. Das Profil vom Schilfsandstein ($km_2$), durch den Gipskeuper ($km_1$) und den Lettenkeuper (ku), bis herunter zum Trigonodus-Dolomit (moß) wurde hauptsächlich aus 2 Bohrungen (näheres siehe Probennahme und -beschreibung) belegt.

Diese Arbeit kann als Ergänzung bereits vorliegender petrographischer Untersuchungen über den Keuper in Süddeutschland aufgefaßt werden. Bisher liegen petrographische Arbeiten hauptsächlich nur über höhere Schichtstufen des Keupers vor. Über den Schilfsandstein arbeiteten HELING (1965), WURSTER (1964) und SALGER (1965). Abgesehen von einer Einzeluntersuchung über die Unteren Bunten Mergel ($km_3$) (LIPPMANN, 1954)

gibt es über die Äquivalente der Bunten Mergel bisher nur Angaben aus Norddeutschland (ECHLE, 1961). Die Petrographie des Stubensandsteins ($km_4$) und des Knollenmergels ($km_5$) ist wieder besser durch Arbeiten von HELING (1963), KROMER (1963) und KULKE (1969) in Süddeutschland belegt. Aus dem Gipskeuper liegt eine neue, jedoch speziell auf die Grundgipsschichten beschränkte Arbeit vor (LIPPMANN & SAVAŞÇIN, 1969). Aus der östlichen Randfazies des Gipskeupers kann noch die Arbeit von SCHMITZ (1959) erwähnt werden.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war es, den Mineralbestand des Profils mit Schwerpunkt auf den Tonmineralen zu bestimmen. Aufgrund dieser Bestimmungen soll versucht werden, die ungünstigen Eigenschaften insbesondere des Gipskeupers als Baugrund zu erklären, unter anderen, die bei Tunnelbauten wiederholt auftretenden Sohlhebungen. Diese waren zur Zeit der hier ausgeführten Arbeiten im Wagenburgtunnel in Stuttgart und besonders beispielhaft in einem dazu parallel laufenden Luftschutzstollen zu beobachten.

## 3 Geologische Übersicht

Das Germanische Triasbecken, das nach Deutschland benannt ist, sich aber bis nach England und über Südfrankreich nach Spanien erstreckte, wurde im wesentlichen schon während des Zechsteins angelegt (BRINKMANN, 1966, S. 135). Es behielt seine Form in Großen und Ganzen auch im Keuper bei, also bis zum Ende der Triaszeit. Die Ablagerungen des Keupers dürften im allgemeinen kontinentaler Art sein, doch werden durch

Vorkommen von Gips sowie Funde mariner Fossilien auch marine Einflüsse angezeigt. Für Süddeutschland gilt die in Tab. 1 gegebene Gliederung des Keupers.

Tabelle 1 Gliederung des süddeutschen Keupers

| | | | |
|---|---|---|---|
| JURA | | | |
| | ko | : | Rhät |
| | $km_5$ | : | Knollenmergel |
| | $km_4$ | : | Stubensandstein |
| KEUPER | $km_3$ | : | Bunte Mergel |
| | $km_2$ | : | Schilfsandstein |
| | $km_1$ | : | Gipskeuper |
| | ku | : | Lettenkeuper |
| MUSCHELKALK | | | |

Durch den langsamen Rückgang des Muschelkalkmeeres, mit zeitweiligen raschen Überflutungen, stellt der Lettenkeuper eine äußerst abwechslungsreiche Schichtstufe dar. Daher war auch lange die Frage der Zuordnung dieser Stufe zu Muschelkalk oder Keuper offen (WAGNER, 1960).

Im Gipskeuper macht sich mehr und mehr der kontinentale Einfluß bemerkbar. Die kürzlich von LINCK (1968) beschriebenen marinen Faunen und die Gipsausscheidungen deuten auf Meeresingressionen hin, wobei ein arides Klima vorherrschte. Der Wechsel der Farben von rot bis violett, von grün bis grau zeigt vielfältigste Ablagerungs- und Diagenesebedingungen an. Gerade diese Farben werden im Gipskeuper zur Bezeichnung der

Schichtfolgen benutzt (VOLLRATH, 1959); so finden sich hier Bezeichnungen wie Dunkelrote Mergel, Bunte wie auch Graue Estherienschichten (vgl. auch Abb. 1a und 1b).

Der überlagernde Schilfsandstein wird seit THÜRACH (1889/90) in 2 Haupttypen gegliedert:

a Flutfazies

b Normalfazies

Die Flutfazies ist mächtig, vorwiegend sandig und entwickelte sich auf Kosten der Oberen Bunten Estherienschichten, gelegentlich ersetzt sie sogar noch Teile der Mittleren Grauen Estherienschichten.

Die Normalfazies überlagert die Unteren Bunten und Mittleren Grauen Estherienschichten, auf denen noch die Oberen Bunten Estherienschichten mit knolligen Dolomitlagen folgen, wobei diese hier nicht untersucht werden konnten, da sie in der betreffenden Bohrung nicht erhalten waren.

## 4 Probennahme und Probenbeschreibung

Die untersuchten Proben wurden im Winter 1968/9 aus drei Kernbohrungen in Stuttgart entnommen. Um den Baugrund für einen Stadt-Bahn-Tunnel zu erkunden, wurden vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg im Auftrag der Deutschen Bundesbahn mehrere Versuchsbohrungen niedergebracht. Aus zwei dieser Bohrungen am Westbahnhof wurde die Schilfsandsteinprobe (Bohrung 98) und der obere Teil des Gipskeupers (Bohrung 99) entnommen. Der untere Teil des Gipskeupers und der des Lettenkeupers einschließlich des Trigonodus-Dolomits stammen

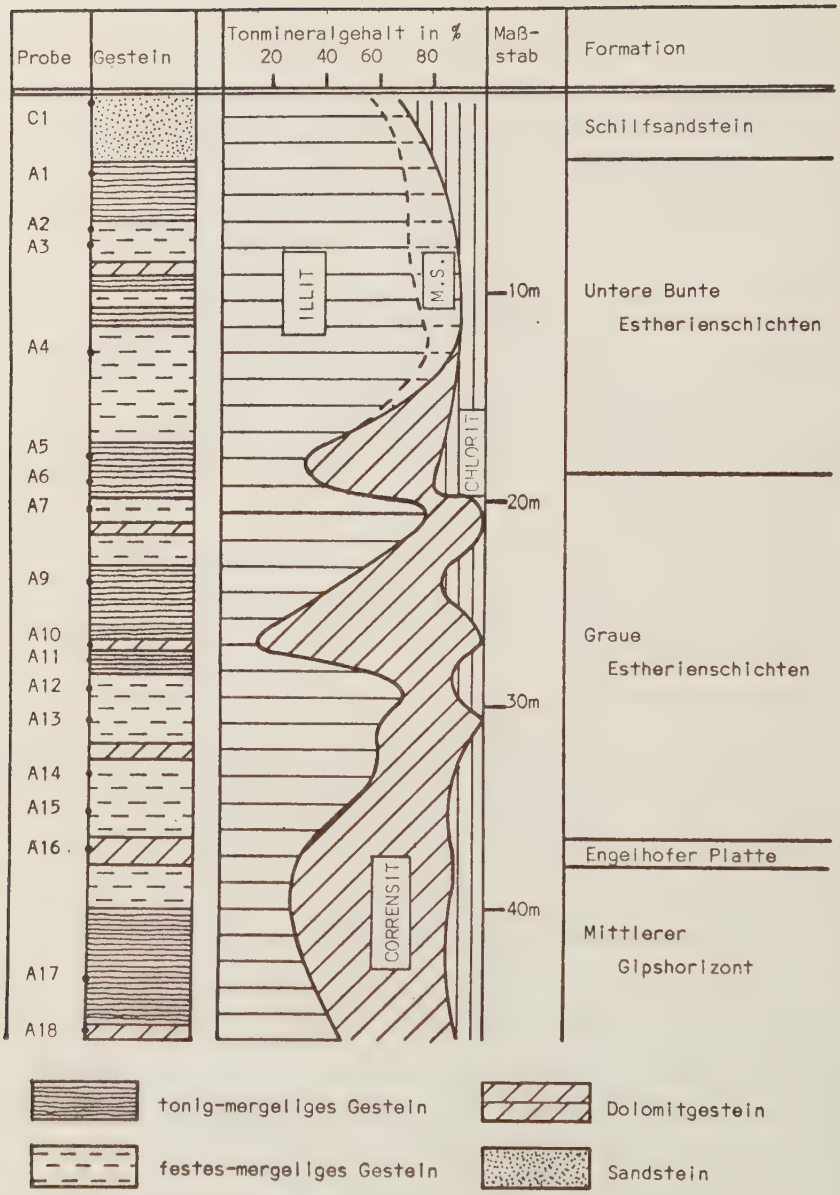
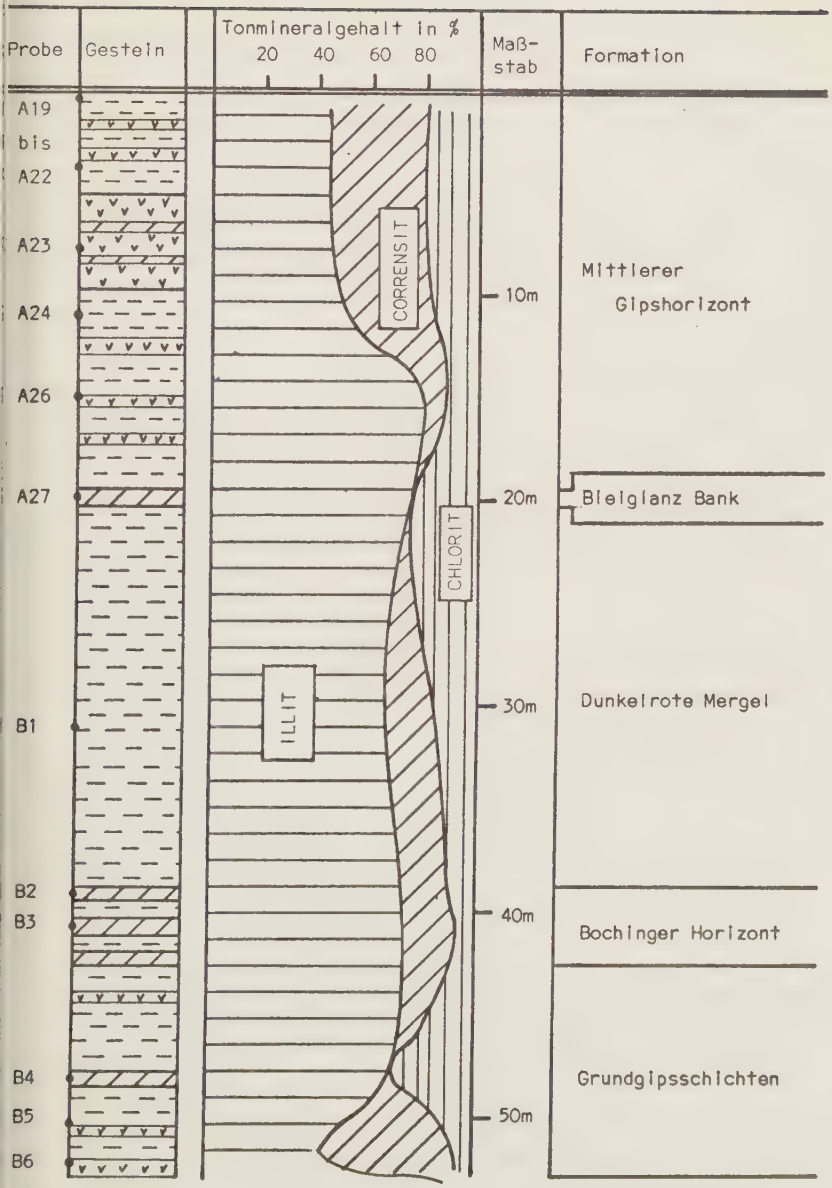
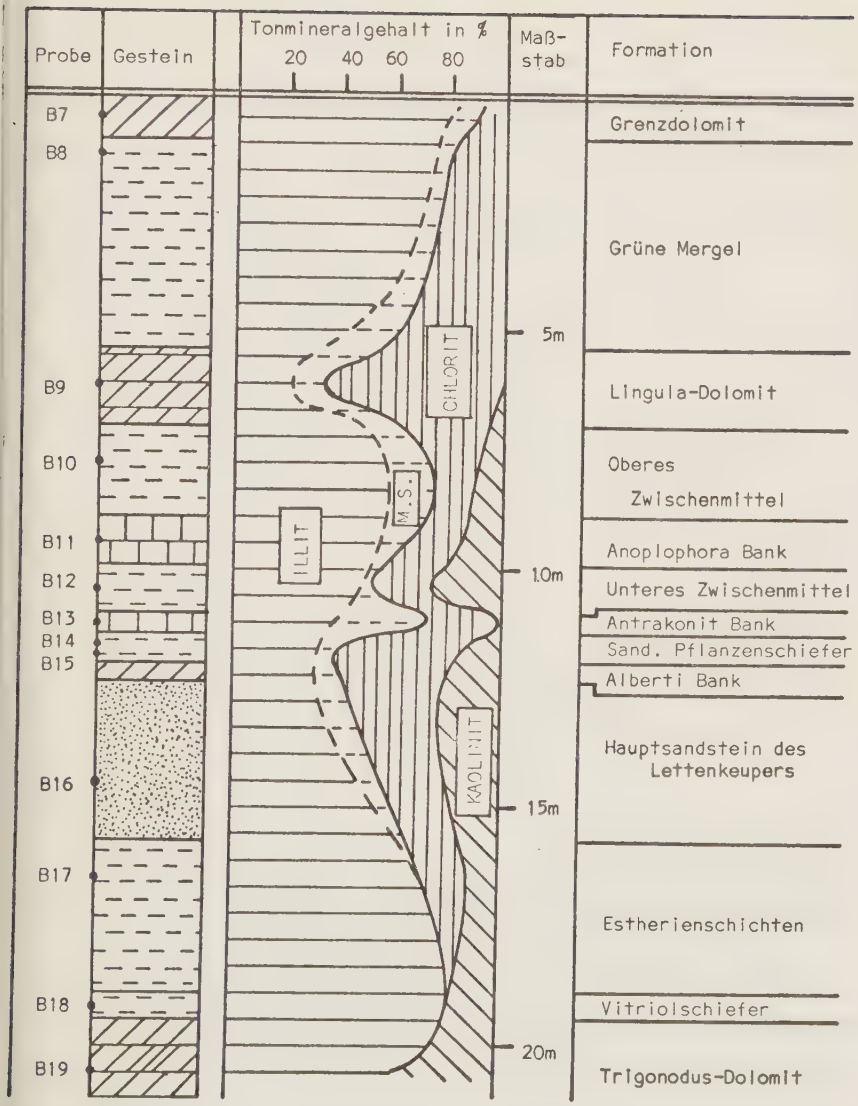



Abb. 1a: Gesteinsausbildung und Tonminerale ( < 2 µ Ø ) im oberen Teil des Gipskeupers (Profil nach VOLLRATH, 1959).




Gips

Abb. 1b: Gesteinsausbildung und Tonminerale (< 2 µ Ø) im unteren Teil des Gipskeupers (Profil nach VOLLRATH, 1959)
Legende wie in Abb. 1a.




Kalkstein

Abb. 1c: Gesteinsausbildung und Tonminerale (< 2 µ Ø ) im Lettenkeuper (Profil nach VOLLRATH, 1959)
Maßstab gegenüber Abb. 1a,b verdoppelt.
Legende wie in Abb. 1a und 1b.

aus der Bohrung 2 der Materialprüfungsanstalt, Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart, die eine Baugrunduntersuchung für ein Bankgebäude unmittelbar nördlich des Stuttgarter Hauptbahnhofs, in der Heilbronner Straße durchführte.

Die Proben der Bohrung 99 werden mit A gekennzeichnet, die Bohrung selbst wird als Profil A in Abb. 1a und teilweise in Abb. 1b dargestellt. Der Bohrung 2 entspricht das Profil B (Abb. 1b und 1c), den zugehörigen Proben die Bezeichnung B; die Schilfsandsteinprobe wird im Folgenden C1 genannt. In Tab. 2 wird eine kurze Beschreibung der Proben (Farbe, Zustand, besondere Merkmale) gegeben.

Bei der Probennahme wurde darauf geachtet, daß möglichst jeder Fazieswechsel durch eine Probe belegt wurde, d.h. es wurde jeweils eine Probe entnommen, wenn sich der Gesteinscharakter grundlegend änderte, z.B. wenn tonig weiches Material auf karbonatisch festes folgte.

## 5 Probenaufbereitung

Die zur Korngrößentrennung notwendige Vorbehandlung der Proben erfolgte im wesentlichen nach 3 Methoden:

Die tonigen und schluffigen Proben wurden direkt in Ammoniakwasser (0,01 n $NH_4OH$) ca. 50 Stunden lang geschüttelt (14 Proben).

Karbonatreiche Gesteine (22 Proben) wurden vorsichtig mit 2%iger kalter Salzsäure behandelt (vergl. LIPPMANN & SCHLENKER, 1970).

Tabelle 2 Probenbeschreibung

Probe C1 liegt 5,00 m über A1, Probe B1 liegt 10,0 m unter A27, Teufenangaben in Meter.

| Probe | Teufe | Farbe, Zustand, besondere Merkmale |
|---|---|---|
| Bohrung 98 (Bundesbahn), Stuttgart, Westbahnhof[1)] | | |
| C1 | 29,75 - 29,95 | grau, hart, Sandstein mit tonigen Schichten |
| Bohrung 99 (Bundesbahn), Stuttgart, Westbahnhof[2)] | | |
| A1 | 17,00 | rot-braun, tonig, hart mit grauen Schichten |
| A2 | 18,70 - 18,90 | gelblich-dolomitisch, fest, mit Calcitadern |
| A3 | 19,40 | grau, bröckelig, z.T. mit tonigen Schichten |
| A4 | 23,85 - 24,00 | grau, fest, mit feinsten Tonlagen |
| A5 | 29,00 - 29,15 | schwarz-grau, tonig, weich, brecciös |
| A6 | 30,30 | braun-rot, tonig, weich, Rostbestege |
| A7 | 31,55 - 31,75 | grau, hart, schichtig |
| A9 | 35,30 - 35,35 | grau, tonig, bröckelig, Rostbestege |
| A10 | 38,25 - 38,40 | gelblich-dolomitisch, hart, bankig |
| A11 | 38,45 - 38,55 | dunkelgrau, tonig, brecciös |
| A12 | 40,45 - 40,55 | brecciös mit braunen festeren Partien und grauem tonigem Bindemittel |
| A13 | 42,50 | gelblich-dolomitisch, brecciös |
| A14 | 44,20 - 44,30 | rot-braun, tonig, schichtig, z.T. brecciös |
| A15 | 46,95 - 47,00 | rot-braun, tonig, weich, etwas brecciös |
| A16 | 47,70 | grün-grau, dolomitisch, hart, bankig |
| A17 | 54,00 - 54,10 | grau, tonig, weich, brecciös |
| A18 | 54,40 - 54,45 | grau-grün, weich mit festeren Partien |
| A19 | 58,00 - 58,20 | grau, geschichtet, Gipseinschlüsse |

Tabelle 2 Fortsetzung

| Probe | Teufe | Farbe, Zustand, besondere Merkmale |
|---|---|---|
| A20 | 58,65 - 58,75 | grau, Gipsschicht mit tonigen Lagen |
| A21 | 62,75 - 62,95 | grau, tonige Lagen mit Gipsknollen, Schichtfugen mit Fasergips |
| A22 | 67,40 - 67,45 | grau, hart, Gips- u. Tongestein im Wech |
| A23 | 71,90 | grau, tonig, brecciös mit Gipsknollen |
| A24 | 74,40 - 74,45 | grün bis weißgrau, brecciös m. Gipsknol |
| A26 | 79,20 - 79,25 | grau, tonig, feste Gipslagen |
| A27 | 83,10 - 83,15 | grau, hart, bankig, Sulfideinschlüsse |
| Bohrung 2 (Materialprüfungsanstalt), Stuttgart, Heilbronner S | | |
| B1 | 12,60 - 12,70 | rot, tonig |
| B2 | 20,70 - 20,80 | gelblich-dolomitisch bis grau, bröckeli |
| B3 | 21,95 | gelblich, dolomitisch, hart |
| B4 | 28,30 - 28,40 | dunkelgrau, tonig m. festen Lagen, |
| B5 | 30,30 - 30,40 | grau, lagig, Gipsschichten |
| B6 | 32,70 | hellgrau-braun, schluffig, brecciös, Gi einschlüsse |
| B7 | 34,50 | gelblich-dolomitisch, hart, bankig, |
| B8 | 34,70 - 34,80 | grau, hart, bröckelig, Rostbestege |
| B9 | 40,70 | grau bis gelblich-dolomitisch, bankig |
| B10 | 41,20 - 41,30 | grau, hart, bröckelig |
| B11 | 44,30 | grau, hart, bankig |
| B12 | 44,90 | grau, tonig, schiefrig |
| B13 | 46,10 - 46,20 | dunkelgrau-schwarz, hart, bankig |
| B14 | 46,80 - 46,90 | grau, tonig, schluffig |
| B15 | 47,40 - 47,50 | grau, tonig, schluffig |

Tabelle 2 Fortsetzung

| Probe | Teufe | Farbe, Zustand, besondere Merkmale |
|---|---|---|
| B16 | 50,20 | grau, schluffig, feine Tonlagen |
| B17 | 51,50 - 51,60 | dunkelgrau, tonig, schiefrige Lagen |
| B18 | 55,30 - 55,40 | grau tonig, schluffig |
| B19 | 58,50 | grau, hart, Calciteinsprenglinge |

| | Rechts-Wert | Hoch-Wert |
|---|---|---|
| 1) | 35 10 865 | 54 03 380 |
| 2) | 35 11 075 | 54 03 345 |
| 3) | 35 13 201 | 54 05 645 |

Aus typischen Gipsgesteinen (8 Proben) wurde der Gips mit einer konzentrierten NaCl-Lösung ausgelaugt. Der Zusatz von NaCl dient zur Erhöhung der Löslichkeit des Gipses. Diese Methode wird von LIPPMANN & SAVAŞÇIN (1969) eingehend beschrieben. Nach Zeiten zwischen 7 und 14 Tagen hatte sich der Gips in dem ständig gerührten Wasser gelöst. Der unlösliche Rückstand wurde ausgewaschen, bis kein Chlorid mehr nachzuweisen war und dann eine zeitlang in 0,01 n $NH_4OH$ geschüttelt.

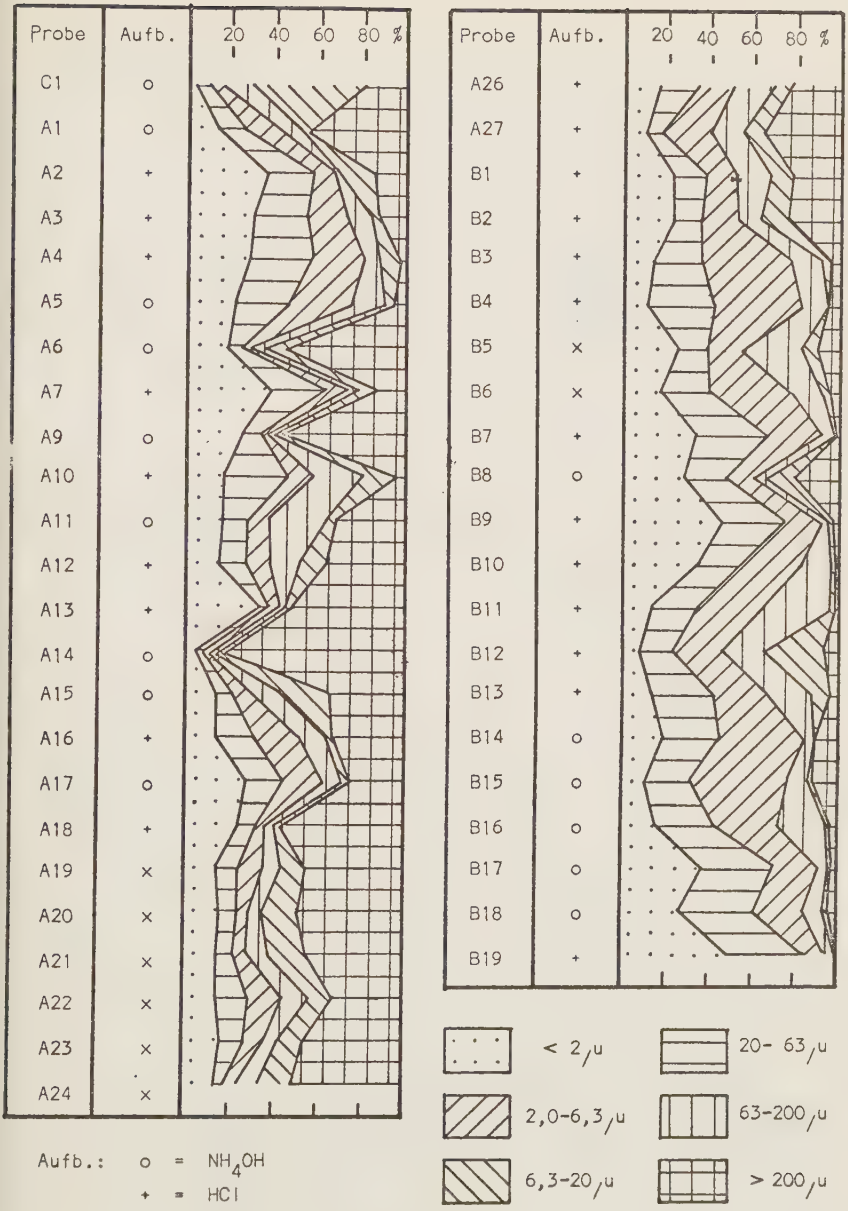
Bei der Schilfsandsteinprobe C1 war im Zusammenhang dieser Untersuchung lediglich der Tonmineralbestand von Interesse. Sie wurde in einem Mörser vorsichtig zerkleinert, und die Korngröße < 630 µ wurde ca. 50 Stunden lang mit Ammoniakwasser geschüttelt.

Die so vorbehandelten Proben wurden wie üblich nach einer Naßsiebung auf einem 63 µ Sieb durch Schlämmen in Atterberg-Zylindern in Korngrößenfraktionen zerlegt (näheres siehe LIPPMANN & SCHLENKER, 1970). Die Fraktionen > 63 µ wurden durch trockenes Sieben weiter unterteilt. Die Ergebnisse der Korngrößentrennungen, sowie die Aufbereitungsart sind in Abb. 2 wiedergegeben.

## 6 Untersuchungsmethoden

### 6.1 Röntgenbeugung

Der Mineralbestand der Korngrößenfraktionen < 2 µ und 2-6,3 µ wurde hauptsächlich röntgenographisch auf dem Diffraktometer an Texturpräparaten (oriented aggregates) bestimmt. Diese wurden durch Eintrocknung einer relativ dickflüssigen Tonsuspension auf mikroskopischen Objektträgern hergestellt. Es wurde dafür gesorgt, daß bei den verschiedenen Proben mit einer möglichst konstanten Bedeckungsdichte von etwa 10 $mg/cm^2$ gearbeitet wurde, um vergleichbare Diffraktometerkurven zu erhalten. Die Verwendung möglichst gut texturierter Präparate zur Verstärkung der Basisreflexe war bei den vorliegenden Proben wegen des Vorkommens von Corrensit von besonderer Wichtigkeit. Nur auf diese Weise konnten die zum Teil recht schwachen Basisreflexe höherer Ordnung dieses Minerals (z.B. 005, 007, 008) beobachtet werden. Es wurden Aufnahmen von lufttrockenen und glykolgesättigten Präparaten angefertigt, sowie nach Erhitzung auf verschiedene diagnostisch interessante Temperaturen (z.B. 400°, 500°, 550°).




Aufb.: o = $NH_4OH$
+ = HCl
× = NaCl

(Aufb.: vgl. auch im Text 5)

Abb. 2 : Ergebnisse der Korngrößenanalysen (Gew.-%) in stratigraphischer Reihenfolge

Die (060)-Interferenzen bildeten bei den vorliegenden Tonmineralkombinationen ein wichtiges, zusätzliches Bestimmungsmerkmal, da z.B. der vorhandene Illit dioktaedrisch und der Corrensit trioktaedrisch ist. Weiterhin war in einigen Fällen Kaolinit, dessen Basislinien mit denen von chloritischen Mineralen zusammenfallen, hauptsächlich an der selbständigen (060)-Linie bei 1,49 Å zu erkennen, die sich von (060) des Illit bei 1,50 Å abhebt und mit derjenigen der trioktaedrischen Minerale (z.B. Corrensit) bei etwa 1,54 Å nicht zu verwechseln ist. Die (060)-Interferenzen wurden durch besondere Aufnahmen im entsprechenden Glanzwinkelbereich um etwa $2\Theta = 60^{\circ}$ in möglichst texturfreien Präparaten untersucht.

## 6.2 Mikroskopie

Die Fraktionen 6,3 - 200 µ wurden mit den üblichen Methoden der Polarisationsmikroskopie in Körnerpräparaten bestimmt. Näheres siehe LIPPMANN & SAVAŞÇIN (1969), LIPPMANN & SCHLENKER (1970).

Die Zusammensetzung der Fraktionen >200 µ Siebdurchmesser wurde unter dem Binokular abgeschätzt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf den Mineralbestand sind in den Abbildungen 3a, 3b, 3c wiedergegeben. Nicht dargestellte Proben sind den in den Abbildungen 3a, 3b, 3c gezeichneten ähnlich und werden in Tabelle 3 verglichen.

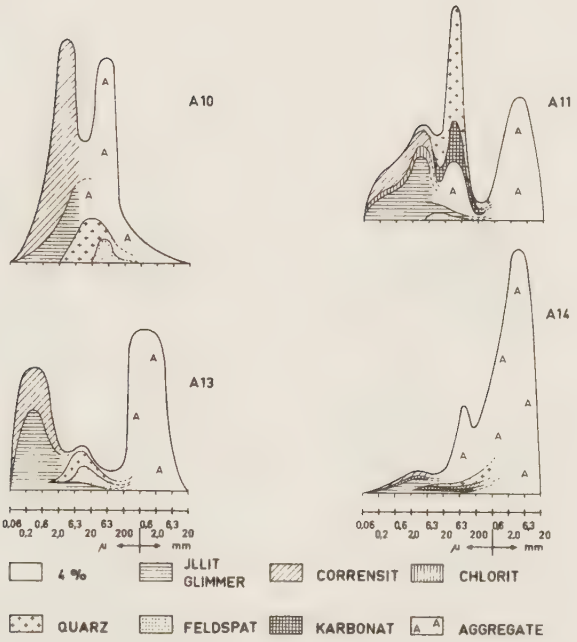



Abb. 3a: Abhängigkeit des Mineralbestandes von der Korngröße, für die Fraktionen $< 6{,}3\,\mu$ in Gew.-%, für die Fraktionen $> 6{,}3\,\mu$ in Kornzahl-%. (Wegen der nicht dargestellten Proben vgl. Tab. 3) Die über $6{,}3\,\mu$ hinausgehende Illit-Signatur zeigt in den entsprechenden Proben ausgezählten Glimmer (Muskowit).

Die Grenzen für die Felder der Einzelminerale wurden so gezeichnet, daß sie sich in Richtung zunehmender Korngröße im Feld der Aggregate unbestimmt verlaufen, da diese ja für eine bestimmte Korngrösse alle Minerale enthalten, die kleiner sind als diese Korngröße.

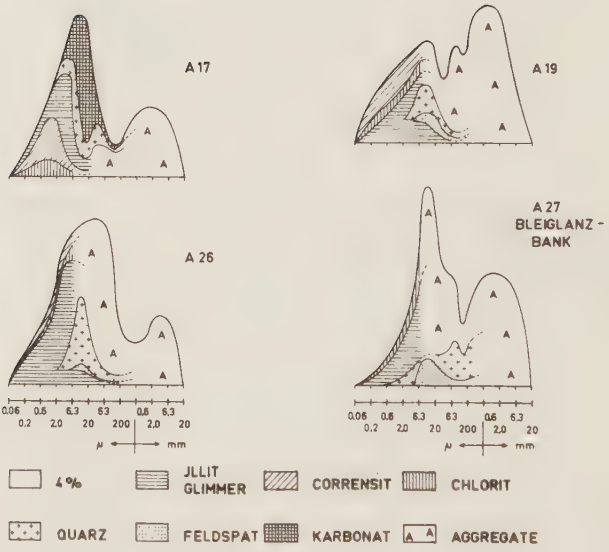



Abb. 3b: siehe Abb. 3a

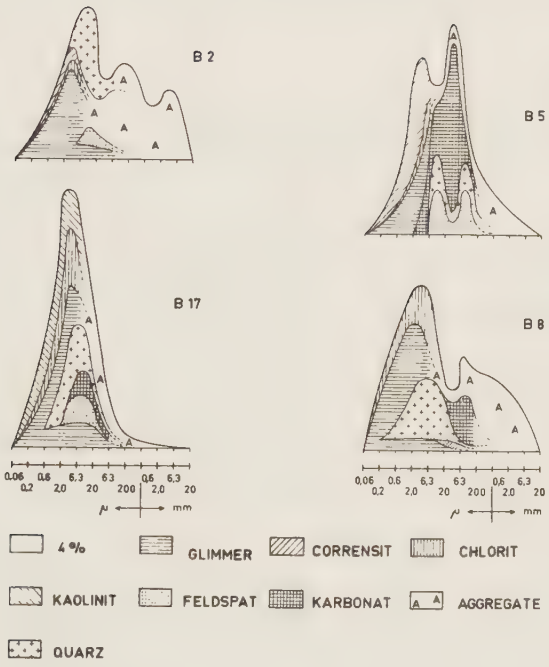



Abb. 3c: siehe Abb. 3a

Tabelle 3 Ähnlichkeiten in Abhängigkeit des Mineralbestandes von der Korngröße mit den in Abb. 3a, b, c graphisch dargestellten Typen

| Probe | Formation | dargest. Typ | Abweichungen in Einzelheiten des Mineralbestandes vom Typ |
|---|---|---|---|
| A1 | Untere Graue Estherien Schichten | A17 | Wechsellagerungen, kein Correnstit |
| A2 | | B8 | 10% weniger Aggregate, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| A3 | | B17 | Kein Kaolinit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| A4 | | B17 | kein Kaolinit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| A5 | | A17 | mehr Correnstit, 10% weniger Aggregate |
| A6 | Untere Bunte Estherien Schichten | A11 | 20% der Aggregate in 20-63 µ |
| A7 | | B17 | kein Kaolinit, dafür mehr Chlorit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| A9 | | A14 | 15% weniger Aggregate |
| A10 | | = | (siehe Abb. 3a) |
| A11 | | = | (siehe Abb. 3a) |
| A12 | | A26 | 10% weniger Aggregate |
| A13 | | = | (siehe Abb. 3a) |
| A14 | | = | (siehe Abb. 3a) |
| A15 | | A11 | etwas höhere Gew.Prozente in Fraktionen 63-315 µ |
| A16 | Engelhofer Platte | A17 | mehr Correnstit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |

Tabelle 3 Fortsetzung

| Probe | Formation | dargest. Typ | Abweichungen in Einzelheiten des Mineralbestandes vom Typ |
|---|---|---|---|
| A17 | | = | (siehe Abb. 3b) |
| A18 | Mittlerer | A13 | keine Abweichung |
| A19 | Gipshorizont | = | (siehe Abb. 3b) |
| A20 | | A19 | keine Abweichung |
| A21 | | A19 | keine Abweichung |
| A22 | | A19 | keine Abweichung |
| A23 | | A19 | keine Abweichung |
| A24 | | A19 | keine Abweichung |
| A26 | | = | (siehe Abb. 3b) |
| A27 | Bleiglanz-Bank | = | (siehe Abb. 3b) |
| B1 | Dunkelrote Mergel | B2 | keine Abweichung |
| B2 | Bochinger | = | (siehe Abb. 3c) |
| B3 | Horizont | A27 | etwas Correnzit, ca. 20% der Aggregate von >315 auf <315 µ verteilt |
| B4 | Grundgips- | A27 | etwas Correnzit, ca. 20% der Aggregate von >315 auf <315 µ verteilt |
| B5 | Schichten | = | (siehe Abb. 3c) |
| B6 | | A26 | weniger Aggregate, dafür Karbonat (NaCl-Auslaugung) |
| B7 | Grenz-dolomit | B17 | kein Kaolinit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |

Tabelle 3 Fortsetzung

| Probe | Formation | dargest. Typ | Abweichungen in Einzelheiten des Mineralbestandes vom Typ |
|---|---|---|---|
| B8 | Grüne Mergel | = | ( siehe Abb. 3c ) |
| B9 | Lingula Dolomit | B17 | ca. 50% mehr Chlorit, dafür weniger Kaolinit, Illit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| B10 | Oberes Zwischen-mittel | B17 | weniger Kaolinit, mehr Chlorit kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| B11 | Anoplophora Bank | B5 | kein Corrensit, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| B12 | Unteres Zwischen-mittel | B8 | etwas Kaolinit |
| B13 | Antrakonit Bank | B17 | etwas höhere Gew.Prozente in Fraktionen 2 /u, kein Karbonat (HCl-Rückstand) |
| B14 | Sandige Pflanzen-schiefer | A17 | Kaolinit anstatt Corrensit |
| B15 | | A17 | Kaolinit anstatt Corrensit |
| B16 | Hauptsandst. des Lettenkeuper | A17 | Kaolinit anstatt Corrensit |
| B17 | Estherien-schiefer | = | ( siehe Abb. 3c ) |
| B18 | Vitriol-schiefer | B17 | kein Chlorit |
| B19 | Trigonodus Dolomit | B17 | kein Chlorit kein Karbonat (HCl-Rückstand) |

# 7 Mineralbestand

## 7.1 Tonfraktionen

### 7.1.1 Illit

Illit kommt in allen hier untersuchten Tonfraktionen vor, und zwar meistens als Hauptbestandteil, außer in einigen corrensitreichen Proben. Charakteristisch sind die Basisinterferenzen bei 10 Å, 5,0 Å und 3,3 Å, sowie die (060)-Interferenz bei 1,50 Å.

Im Profil A enthält der Illit im Rahmen der Nachweismöglichkeiten von ca. 5% kaum eingeschaltete quellfähige Schichten. Nur in der Probe A26 und in den Proben A1 bis A4 unmittelbar unterhalb des Schilfsandsteins sowie in diesem selbst (C1) wird ein deutliches Stärkerwerden der 10 Å - Interferenz nach Erhitzen auf 400°C beobachtet, welches Gehalten an quellfähigen Schichten um 10% entspricht (vgl. LIPPMANN, 1959). Im Profil B konnte in nahezu allen Proben (außer B2 und B6) ein Anteil an quellfähigen Schichten von ca. 5 - 15 % bestimmt werden. Die Einschaltung von quellfähigen Schichten in den Illit tritt also hauptsächlich im unteren Teil des untersuchten Profils deutlich in Erscheinung und setzt mit A26 schon oberhalb der Bleiglanzbank (A27) ein, die jedoch selbst keine quellfähigen Schichten erkennen läßt (Abb. 1a, 1b, 1c).

### 7.1.2 Corrensit

In einer Anzahl von Proben tritt neben Illit Corrensit als Hauptmineral auf. Corrensit wurde nur im Gipskeuper gefunden und fehlt im Lettenkeuper, d.h. ab Grenzdolomit einschließlich. In unbehandeltem Zustand zeigt das Mineral Basisinterferenzen von ca. 29 Å mit den zugehörigen höheren Ordnungen. Man vergleiche Tabelle 4 und die in Abbildung 4 als Beispiel wiedergegebene Kurve (A), die die Probe A10 in unbehandeltem Zustand zeigt. Durch Sättigung mit Äthylenglykol quillt der Corrensit auf 31 Å (Abb. 4, Kurve (B)) bei entsprechender Verschiebung der höheren Ordnungen. Da in diesem Zustand die Beugungsmaxima des Corrensits am deutlichsten von denen anderer Minerale getrennt sind, wurden für die Darstellung des Tonmineralbestandes in Abhängigkeit von der Teufe (Abbildungen 5a, 5b) die Diffraktometerkurven der glykolgesättigten Fraktion $< 2\,\mu$ gewählt. Der Abstand von 29 Å in unbehandeltem Zustand beruht bereits auf einer gewissen Quellung durch Wasser. Dieses ist in quellfähigen, montmorillonit- oder vermikulitähnlichen Schichten gebunden, aus denen der Corrensit in regelmäßiger Wechsellagerung aufgebaut ist (LIPPMANN, 1959; LIPPMANN & JOHNS, 1969). Das Zwischenschichtwasser kann durch Erhitzen ausgetrieben werden. Dabei schrumpft die Struktur des Corrensit wie eine Ziehharmonika auf ca. 24 Å. Dieser Zustand wird durch Erhitzen auf 550° derartig fixiert, daß ein Wiederaufquellen unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur nicht mehr eintritt (Kurve (E) in Abb. 4).

Tabelle 4 d-Werte der corrensitreichen Probe A 10 nach verschiedenen Vorbehandlungen
Fraktion < 2 µ, Corr = Corrensit, Ill = Illit.

| | lufttrocken | | | glykolgesättigt | | | 1/2 h 400°C | | | 1/2 h 500°C | | | 1/2 h 550°C | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Indizes | dÅ | I | l $d_{001}$Å | dÅ | I | l $d_{001}$Å | dÅ | I | l $d_{001}$Å | dÅ | I | l $d_{001}$Å | dÅ | I | l $d_{001}$Å |
| Corr 001 | 29,4 | 23 | 29,4 | 31,5 | 41 | 31,5 | -- | - | -- | 23,3 | 2 | 23,3 | 23,5 | 8 | 23,5 |
| Corr 002 | 14,6 | 43 | 29,2 | 15,5 | 43 | 31,0 | 12,4 | 15 | 24,8 | 12,4 | 15 | 24,8 | 12,1 | 26 | 24,2 |
| Ill 001 | 10,0 | 10 | 10,0 | 10,0 | 8 | 10,0 | 10,0 | 10 | 10,0 | 10,0 | 10 | 10,0 | 10,0 | 10 | 10,0 |
| Corr 003 | 9,6 | 8 | 28,8 | | | 30,0 | 8,15 | 13 | 24,45 | 8,11 | 15 | 24,33 | 8,04 | 3 | 24,12 |
| Corr 004 | 7,26 | 5 | 29,04 | 7,76 | 19 | 31,04 | 6,03 | 1 | 24,12 | 6,03 | 1 | 24,12 | -- | - | -- |
| Corr 005 | -- | - | -- | 6,24 | 1 | 31,20 | 4,84 | 5 | 24,20 | 4,82 | 6 | 24,10 | -- | - | -- |
| Ill 002 | 5,01 | 4 | 10,02 | 5,00 | 4 | 10,00 | 5,00 | 6 | 10,00 | 5,00 | 5 | 10,00 | 5,00 | 4 | 10,00 |
| Corr 006 | 4,85 | 3 | 29,10 | 5,16 | 8 | 30,96 | -- | - | -- | 3,95 | 1 | 23,70 | -- | - | -- |
| Corr 007 | 4,17 | 1 | 29,19 | 4,42 | 4 | 30,94 | 3,42 | 7 | 23,94 | 3,42 | 9 | 23,94 | -- | - | -- |
| Corr 008 | 3,63 | 4 | 29,04 | 3,87 | 2 | 30,94 | 2,97 | 2 | 23,76 | 2,97 | 3 | 23,76 | 2,96 | 4 | 23,68 |
| Ill 003 | 3,33 | 10 | 9,99 | 3,33 | 8 | 9,99 | 3,33 | 9 | 9,99 | 3,33 | 10 | 9,99 | 3,33 | 9 | 9,99 |
| Corr 009 | 3,24 | 3 | 29,16 | 3,44 | 14 | 30,96 | -- | - | --- | -- | - | -- | -- | -- | -- |
| Corr 00 10 | 2,90 | 3 | 29,00 | 3,09 | 1 | 30,90 | -- | - | -- | -- | - | -- | -- | - | -- |

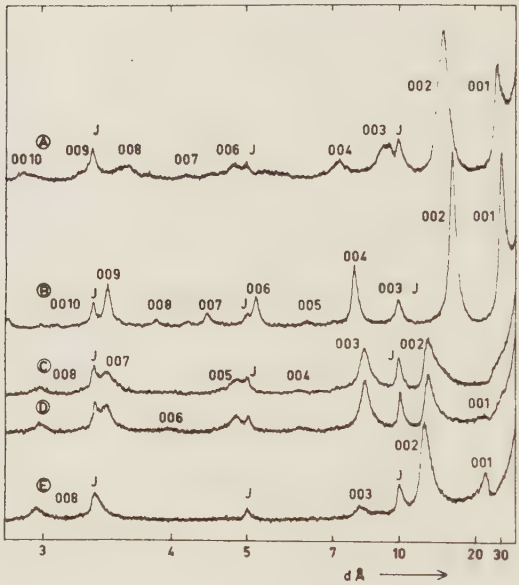



Abb. 4: Röntgendiffraktometerkurven nach verschiedenen Vorbehandlungen für die corrensitreichste Probe A10, Fraktion < 2 µ. Die verschiedenen Basislinien des Corrensits sind mit 001 indiziert.

J = Illit

(A) : lufttrocken

(B) : glykolgesättigt

(C) : 1/2 h 400° C

(D) : 1/2 h 500° C

(E) : 1/2 h 550° C

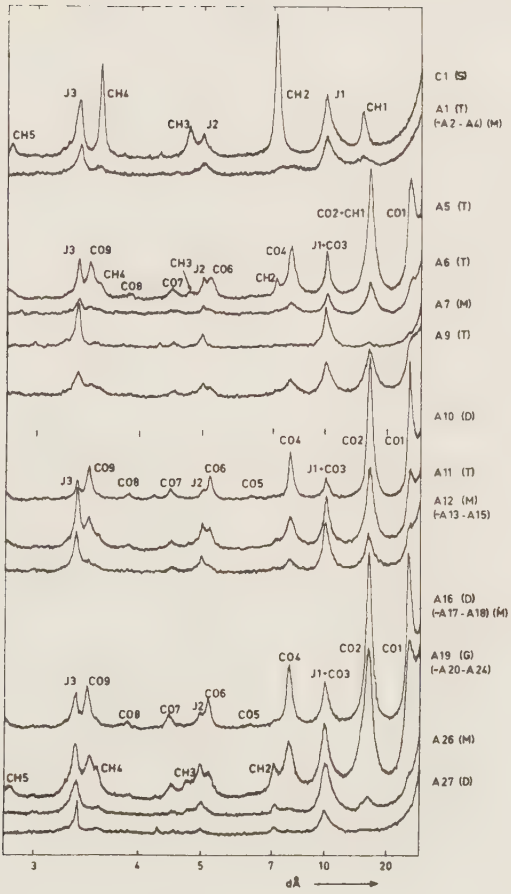



Abb. 5a: Röntgendiffraktometerkurven für den Schilfsandstein (C1) und das gesamt Profil A in stratigraphischer Reihenfolge; Fraktion < 2 µ, glykolgesättigt.

S = Sandstein
T = Tongestein
G = Gipsgestein
M = Mergelgestein
D = Dolomitgestein

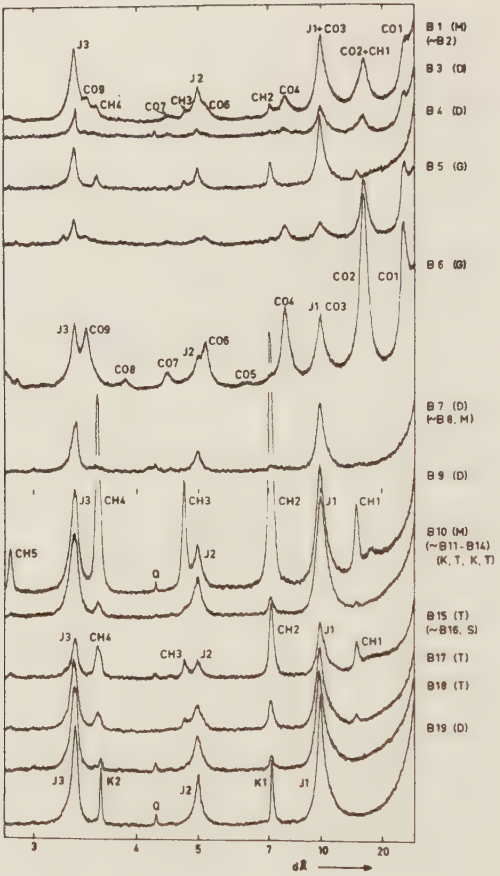



Abb. 5b: Röntgendiffraktometerkurven für das gesamte Profil B in stratigraphischer Reihenfolge; Fraktion < 2 µ, glykolgesättigt.

S, T, M, D, G wie in Abb. 5a

K = Kalkstein

Ähnlich wie mit Äthylenglykol quillt Corrensit auch mit Wasser, jedoch nur mit einem deutlichen Überschuß an Flüssigkeit, entsprechend einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% (LIPPMANN, 1956). Dabei wird ein Basisabstand von 32 Å erreicht. Das Mineral quillt also von dem Abstand 29 Å im lufttrockenen Zustand um 10% seines Volumens bei Sättigung mit Wasser. Für röntgenographische Routinebestimmungen wird jedoch die Quellung mit Wasser, die an sich die zu erwartenden bodenmechanischen Eigenschaften des Corrensit in anschaulicher Weise demonstriert, nicht gern verwendet, da die erhaltenen Beugungsdiagramme weniger deutlich sind als diejenigen mit Quellung durch Äthylenglykol.

Hohe Corrensitgehalte kommen zunächst in der Tonfraktion der Lösungsrückstände gewisser Karbonatbänke vor. So z.B. in der Engelhofer Platte (A16), die in der Bohrung 99 als Dolomitbank ausgebildet ist und in der Bochinger Bank (B3), die sowohl Dolomit wie Calcit enthält. Den höchsten Corrensitgehalt im nichtkarbonatischen Anteil enthält die Steinmergelbank A10, deren Karbonat reiner Dolomit ist. Demgegenüber scheint in weniger harten Mergelbänken der Corrensitgehalt abzunehmen, z.B. in A12, A13, A7 und B2, die auch weniger Gesamtkarbonat (20,1%, 18,7%, 34,7%, 32,6%) und neben Dolomit auch Calcit zeigen. Es gibt aber auch harte Bänke mit höherem Karbonatgehalt, in denen kein Corrensit im Lösungsrückstand nachzuweisen ist, z.B. in der Bleiglanz-Bank (A27, 69% Dolomit) und in der Probe B4 (ca. 30% Dolomit und 30% Calcit). (Vergl. hierzu Abb. 1a, 1b, 1c).

Auch die mehr tonig erscheinenden Gesteine, die oberhalb (und auch unterhalb) der Engelhofer Platte mit härteren Lagen (Steinmergel) in Wechsellagerung stehen, sich aber von diesen nicht immer eindeutig durch niedrigere Karbonatgehalte unterscheiden, enthalten wechselnde Mengen Corrensit (A14, A15). Wegen der zum Teil brecciösen Ausbildung können diese Proben und insbesondere A17 und A18 als Übergänge zu den weiter unten besprochenen natürlichen Auslaugungsrückständen von Gipsgestein aufgefaßt werden.

Von der einheitlich tonig-mergelig ausgebildeten Schicht der Dunkelroten Mergel, für die im Stuttgarter Raum eine Mächtigkeit von ca. 20 m angegeben wird (VOLLRATH, 1959) wurde nur eine einzige Probe (B1) untersucht, die 8 m über dem Bochinger Horizont liegt. Der höhere Teil der Dunkelroten Mergel bildet die Lücke zwischen den Bohrungen 99 und Wegen des Vorkommens von Corrensit in der Bochinger Bank ist also damit zu rechnen, daß mindestens in der unteren Hälfte der 20 m mächtigen Schicht der Dunkelroten Mergel das Mineral ebenfalls vertreten ist.

Höhere Corrensitgehalte kommen in den hier untersuchten künstlichen Lösungsrückständen der beiden Grundgipsproben (B5, B6) vor (vergl. LIPPMANN & SAVAŞÇIN, 1969), sowie in den als natürliche Gipsrückstände anzusprechenden tonigen Proben A5, A6 von der Unterkante der Unteren Grauen Estherienschichten. Deutliche aber geringere Corrensitgehalte zeigen auch die künstlichen Lösungsrückstände der Proben A19 bis A24 des Mittleren Gipshorizontes. Diese Proben sind zum Teil bereits mehr oder weniger deutlich durch natürliche Auslaugungsprozesse beeinflußt.

7.1.3 Chlorit

In einem großen Teil der Proben wurde Chlorit gefunden. Er wurde an den Basisinterferenzen, entsprechend ca 14 Å und den zugehörigen höheren Ordnungen erkannt. Insbesondere beim Zusammenvorkommen mit Corrensit fällt dessen stärkste Linie mit der 14 Å - Interferenz zusammen. In diesen Fällen ist jedoch der Chlorit, falls vorhanden, an der 3. Ordnung bei 4,7 Å nachzuweisen, die für glykolgesättigte Präparate mit keiner Corrensitinterferenz zusammenfällt und von der Illitinterferenz bei 5,0 Å deutlich getrennt ist (s. Abb. 5a, b). Die 2. Ordnung bei 7 Å zeichnet sich zwar durch höhere Intensität aus und erlaubt daher eine größere Nachweisempfindlichkeit, sie ist aber nur dann für Chlorit bezeichnend, wenn durch andere Kriterien Kaolinit ausgeschlossen werden kann. Chlorit läßt sich mit wenigen Ausnahmen (z.B. A7, A12 bis A15, A18) in allen Proben des Gipskeupers, die auch Corrensit führen, als Nebenbestandteil nachweisen. Er fehlt aber auch manchmal gerade in den Proben, die besonders reich an Corrensit sind, wie die Proben A10 und B6. Im Gegensatz zum Corrensit reicht der Chlorit bis herunter in den Lettenkeuper, mindestens bis in die sog. Estherien-Schiefer (B17). Im Lösungsrückstand des Lingula-Dolomits (B9) bildet Chlorit das Haupttonmineral neben weniger Illit. Es ist bemerkenswert, daß die Tonfraktion des Schilfsandsteins (C1), der ja stratigraphisch viel höher liegt, eine ähnliche Tonmineralparagenese aufweist (s. Abb. 1a, 1b und 1c).

Bei den großen Chloritgehalten der beiden letztgenannten Proben lassen sich die starken (060)-Linien bei 1,54 Å eindeutig dem Chlorit zuordnen. Es handelt sich also mindestens in diesen Fällen um normalen trioktaedrischen Chlorit.

### 7.1.4 Kaolinit

Der Nachweis von Kaolinit gestaltet sich schwierig bei Anwesenheit von Chlorit und zum Teil auch neben Corrensit, weil die Basislinien bei 7 Å und 3,5 Å mit Linien gleicher d-Werte dieser Minerale zusammenfallen. Die röntgenographische Bestimmung des Kaolinits kann sich in solchen Fällen lediglich auf die (060)-Interferenz bei 1,49 Å stützen (s. oben unter 6.1). Aus dem Fehlen dieser Interferenz in allen Proben des Gipskeupers wurde die Abwesenheit von Kaolinit in diesem Profilteil erschlossen. Kaolinit findet sich nur im Lettenkeuper vom Lingula-Dolomit (B9, einschließlich) an abwärts bis zur tiefsten hier untersuchten Probe dem Trigonodus-Dolomit (B19) (vgl. LIPPMANN & SCHLENKER, 1970).

Für die entsprechenden Proben wurden nicht nur die (060)-Interferenzen bei 1,49 Å beobachtet, sondern der Kaolinit konnte darüber hinaus auch infrarotspektroskopisch nachgewiesen werden. Nach KODAMA & OINUMA (1963) tritt das Absorptionsband des Kaolinits bei 3698 ± 2 $cm^{-1}$ noch bei sehr geringen Prozentgehalten (ab 5%) auf und kann deutlich neben Chlorit erkannt werden. Bei der Probe B9 (Lösungsrückstand des Lingula-Dolomits) sind wegen der Basisreflexe von Chlori

diejenigen des Kaolinits nicht mehr zu erkennen (s. Abb. 5b), obwohl sich Kaolinit durch einen (060)-Reflex bei 1,49 Å bemerkbar macht. Die Anwesenheit von Kaolinit wird durch den kleinen Ausschlag bei 3698 $cm^{-1}$ bestätigt. Das ist in Abb. 6 zu sehen, welche Infrarotspektren von Proben mit wechselndem Chloritgehalt zeigt, in denen Kaolinit vermutet oder durch den (060)-Reflex erkannt wurde.

Unterhalb des Lingula-Dolomits läßt sich der Kaolinit nur in der Probe B13 (Antrakonit-Bank) nicht mit Sicherheit nachweisen, da eine (060)-Linie bei 1,49 Å nicht eindeutig erkennbar ist und die Anwesenheit der Kaolinitbande im Infrarotdiagramm fraglich erscheint.

### 7.1.5 Haematit

In den rotgefärbten Proben kann in den meisten Fällen die stärkste Beugungslinie des Haematit bei 2,69 Å gerade noch beobachtet werden. Haematit bildet also das Rotpigment im Gipskeuper im Einklang mit den Ergebnissen von LIPPMANN (1954, Untere Bunte Mergel; 1956, Röt).

## 7.2 Mikroskopische Fraktionen

### 7.2.1 Aggregate

In fast allen Proben, besonders aber in denen des Gipskeupers, fallen rundliche bis unregelmäßig begrenzte Körner auf, bei denen es sich wegen der sehr unregelmäßigen,

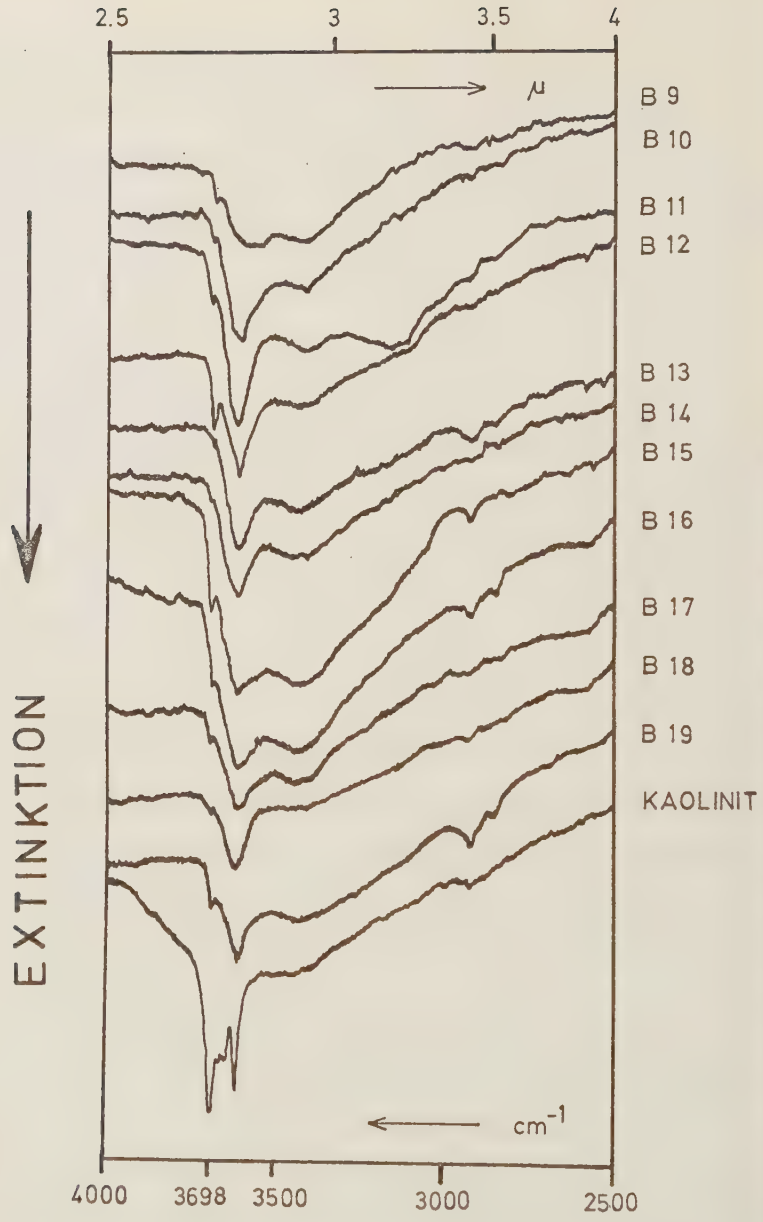



Abb. 6: Infrarotspektroskopische Absorptionskurven für Proben des Lettenkeupers und des Trigonodus-Dolomits. Die Bande bei 3698cm$^{-1}$ bestätigt den röntgenographisch bestimmten Kaolinit, wie der Vergleich mit der Kurve des reinen Kaolinits (unten) zeigt.

zum Teil aber auch ganz fehlenden Auslöschung zwischen gekreuzten Polarisatoren nicht um einheitliche Mineralkörner handeln kann, sondern sicher um polykristalline Gebilde. Bei einem Teil dieser Aggregate lassen sich die Einzelkristallite noch mikroskopisch auflösen, aber nicht mehr polarisationsmikroskopisch bestimmen. Die maximale Korngröße der polykristallinen Aggregatmasse beträgt ca. 5 µ (z.B. in den Proben A19 bis A24, B7). Häufig liegt jedoch die Korngröße der Aggregatmasse unterhalb der mikroskopischen Auflösungsgrenze. In diesem Fall hellen die Aggregate zwischen gekreuzten Polarisatoren unregelmäßig auf, und es lassen sich kaum noch Einzelkörnchen mit einer definierten Auslöschung erkennen (z.B. A9, B17). Gelegentlich heben sich jedoch aus der mehr oder weniger feinen Grundmasse mikroskopisch ansprechbare Körner von Quarz, Karbonat und Feldspat heraus. Die Aggregate der makroskopisch rot gefärbten Proben erscheinen unter dem Mikroskop fast opak, während sie zwischen gekreuzten Polarisatoren dunkelrot aufhellen. Am Rande der Aggregate lassen sich bei stärkster Vergrößerung gelegentlich blutrot durchscheinende Einzelkörnchen von ca. 1 µ Größe erkennen. Es handelt sich um Haematit, der auch röntgenographisch bestimmt wurde (s. 7.1.5).

Die Lichtbrechung der Aggregate läßt sich nicht genau messen, doch deutet die Höhe des Reliefs in Kanadabalsam auf Brechungswerte der Größenordnung n = 1,6, wie sie für Schichtsilikate, z.B. Glimmer, charakteristisch ist. In die gleiche Richtung weist auch die Höhe der Doppelbrechung (höchstens Weiß erster Ordnung), wie sie für die mikroskopisch

auflösbaren Einzelkristallite bei ca. 5 µ Korngröße zu beobachten ist. Dieser Befund wird durch röntgenographische Untersuchungen aggregathaltiger, gröberer Fraktionen bestätigt, die für die Aggregate immer die gleichen Tonminerale anzeigen, die auch die feinen Fraktionen der betreffenden Proben ausmachen. Ein solcher Zusammenhang der Mineralzusammensetzung der Aggregate mit den Mineralen der feinsten Fraktionen wird von LIPPMANN (1954) für die Unteren Bunten Mergel von Zaisersweiher angegeben, weil die aggregathaltigen gröberen Fraktionen ähnliche DTA-Kurven ergaben wie die feinsten Tonfraktionen.

Es handelt sich also bei den Aggregaten um Anteile an den Gesamtproben, die sich bei der für Tone gewöhnlich angewendeten Aufbereitung (50 Stunden Schütteln in 0,01 n $NH_3$) nicht in einzelne Mineralpartikel zerlegen lassen. Karbonat als Bindemittel kann dadurch ausgeschlossen werden, daß sich solche Aggregate auch in den Lösungsrückständen von karbonatreichen Proben finden, in denen der Karbonatanteil mit Salzsäure herausgelöst wurde (z.B. A7, A10, A16, A26, B2). Mikroskopisch lassen sich zwar in Aggregaten aus tonigen Mergeln, die nicht mit Säure behandelt wurden, einzelne Karbonatkörner erkennen (z.B. A5, A14, A15, A17), jedoch ist deren Menge viel zu gering, als daß man von einem karbonatischen Bindemittel sprechen könnte. Auch feinverteilter Haematit kommt als Bindemittel nicht in Frage, da die Aggregate auch in haematitfreien, d.h. nicht rotgefärbten Proben (A9, A13) auftreten. Die relative Festigkeit der Aggregate dürfte vielmehr auf eine besonders enge Verfilzung der Tonminerale

selbst zurückzuführen sein. Man könnte versucht sein, diese mit dem Wachstum von Corrensit im Sediment in Verbindung zu bringen. Jedoch sind Aggregate nicht nur auf corrensitreiche Proben beschränkt, sondern sie wurden auch in corrensitfreien Proben (z.B. A27, B4) gefunden. Ähnliche Gebilde kommen auch in tonigen Gesteinen des Lias vor (KHARKWAL, 1959). Da sich alle diese Formationen durch größere Überlagerungsmächtigkeiten auszeichnen, liegt es nahe, die Aggregatbildung nicht nur mit Umbildungen und Neubildungen von Tonmineralen in Verbindung zu bringen, sondern auch mit der Kompaktion. Die Aggregate können daher als Anzeiger für intensive Diagenese des Tonanteils unter dem Einfluß großer Überlagerungsmächtigkeit bzw. Versenkungstiefe aufgefaßt werden.

Wegen des großen Mengenanteils des Aggregate (bis zu maximal 80%) ergeben die gefundenen Korngrößenanalysen keinen Hinweis auf die Kornverteilung der ursprünglichen Sedimente. Diese müssen auf jeden Fall bedeutend feinkörniger gewesen sein als sie heute nach den Korngrößenanalysen erscheinen. Wegen der verhältnismäßig geringen Anteile an gröberen monomineralischen Kornbestandteilen, wie z.B. Quarz (siehe unter 7.2.2), müssen die Ausgangssedimente der hier untersuchten Gesteine, insbesondere die des Gipskeupers, sogar als extrem feinkörnig angesprochen werden. Daß sich durch energischere Aufbereitungsmethoden die Aggregate tatsächlich weiter aufteilen lassen, wird unter 8.2 gezeigt.

7.2.2 Quarz

Detritischer Quarz

In nahezu allen Proben ist nach den Aggregaten detritischer Quarz Hauptbestandteil der Fraktionen 6,3 - 200 µ. Es handelt sich meist um undulös auslöschende, zerbrochene, mehr oder weniger kantengerundete Individuen. Meist haben diese Körner Einschlüsse, die jedoch wegen ihrer geringen Größe nicht bestimmt werden konnten. Zudem sind die Körner sehr oft von tonigen Partikeln umkrustet.

Idiomorpher Quarz

Neben dem detritischen Quarz tritt auch idiomorpher, jedoch in viel geringerem Maße auf. Der idiomorphe Quarz findet sich vor allem in den weichen tonigen Mergeln und den Gipsrückständen des Profils A, sowie auch im Lösungsrückstand der dolomitischen Bleiglanzbank (A27). Andererseits scheinen gerade die festeren, d.h. dolomitreicheren Bänke, wie z.B. die Engelhofer Platte und die Bochinger Bank, sowie nicht besonders benannte Steinmergelbänke (A7, A10) frei von idiomorphem Quarz zu sein. Im Profil B konnte idiomorpher Quarz nur in den Grundgipsschichten (B6), der oben schon erwähnten Bochinger Bank (B4) und in der Antrakonitbank (B13, Kalkstein) gefunden werden. Nach früheren Untersuchungen waren idiomorphe Quarze auch im Trigonodus-Dolomit zu erwarten (LIPPMANN & SCHLENKER, 1970) und wurde auch in der vorliegenden Probe B19 gefunden.

Die idiomorphen Quarzkristalle zeigen unter dem Mikroskop weitgehend Schnitte parallel zur c-Achse, da das Verhältnis von Breite zu Länge zwischen 1:2 bis 1:5 beträgt und die Teilchen daher bevorzugt in Längsrichtung eingebettet werden. Es kommen Rhomboeder- und Prismenflächen vor. Aufgrund dieser Eigengestalt dürfte es sich wohl um authigene Neubildungen im Sediment handeln. Die in diesen Körnern enthaltenen Einschlüsse konnten wegen der geringen Größe nicht genau bestimmt werden. Wegen der hohen Doppelbrechung dürfte es sich wohl um Karbonat handeln.

### 7.2.3 Feldspat

Detritischer Feldspat

In allen Proben kommt mehr oder weniger häufig detritischer Feldspat vor. Meistens handelt es sich um Plagioklase, die als Albit bis Oligoklas bestimmt wurden, und zwar aufgrund der Lichtbrechung ($n\alpha' \simeq 1{,}530$, $n\gamma' \simeq 1{,}540$). An vereinzelten Körnern wurden Zwillingslamellen beobachtet, die nach der im wesentlichen symmetrischen Auslöschung dem Albitgesetz entsprechen.

Weit seltener wurde detritischer Kalifeldspat gefunden, der hauptsächlich aufgrund der Lichtbrechung ($n < 1{,}527$) bestimmt wurde, aber auch durch den negativen Achsenwinkel um 55 bis 60°.

Nur im Schilfsandstein, der obersten Probe (C1), tritt zu den beiden eben genannten Arten von Feldspäten noch Mikroklin hinzu, der sich durch die charakteristische gitterartige Verzwillingung auszeichnet.

Wie schon die Quarze so sind auch die detritischen Feldspäte mehr oder weniger von Tonmineralen überkrustet.

Idiomorpher Feldspat

Weitaus seltener als idiomorpher Quarz erscheint in den untersuchten Profilen idiomorpher Feldspat. Lediglich in der Probe A18, den beiden Lösungsrückständen der Grundgipsschichten B5 und B6, sowie in der Antrakonit-Bank (B13) und im Trigonodus-Dolomit (B19) konnten einige Körner erkannt werden. Wegen der sehr geringen Lichtbrechung von $n\alpha' \simeq 1{,}520$ und $n\gamma' \simeq 1{,}524$ und aufgrund des verhältnismäßig kleinen negativen Achsenwinkels von 40 - 45° handelt es sich um Kalifeldspat. In den Grundgipsschichten (vgl. LIPPMANN & SAVAŞÇIN, 1969) und im Oberen Muschelkalk (vgl. LIPPMANN & SCHLENKER, 1970) wurde dieser Kalifeldspat als authigen beschrieben. Die in der Arbeit von LIPPMANN & SAVAŞÇIN beschriebenen Feldspatkörner mit Anwachsungslamellen konnten auch hier vereinzelt in den Grundgipsschichten beobachtet werden, wobei die Lamellen ein wenig schief im Vergleich zum inneren Hauptteil des Kristalles auslöschen. Gelegentlich enthalten die authigenen Kalifeldspäte auch detritische Kerne. Diese zeigen, wie bei LIPPMANN & SAVAŞÇIN, meist eine höhere Lichtbrechung als die authigene Umwachsung und heben sich häufig durch Trübung der Verwachsungszone ab, die wahrscheinlich durch eingeschlossene Tonteilchen hervorgerufen wird.

### 7.2.4 Glimmer

In fast allen Proben kommen dünne, farblose Blättchen vor. Aufgrund der Lichtbrechung (n = 1,58 - 1,61) und des Achsenwinkels von $2V_x \simeq 40^o$ wurden die Blättchen als Muskowit bestimmt.

Ganz selten tritt auch Biotit auf, der an dem kleineren Achsenwinkel und der Farbe erkannt wurde.

Die mikroskopisch ausgezählten Glimmer sind in den Diagrammen der Abbildungen 3a, 3b, 3c in den in Frage kommenden Korngrößenbereichen, wenn und soweit es durch ihren Mengenanteil gerechtfertigt ist, möglichst nahe der Grundlinie dargestellt und durch ausgezogene Grenzen gegen die übrigen mikroskopisch ausgezählten Minerale abgegrenzt. Die entsprechenden Gebiete verlaufen dagegen ohne Grenze zu feineren Korngrößen und in das Gebiet der gröberen Aggregate, da in diesen beiden Fällen eine Auszählung der Glimmer nicht möglich war.

### 7.2.5 Karbonat

Wie die Röntgendiffraktometeraufnahmen zeigen, enthalten nahezu alle Proben Dolomit mit und ohne Calcitbeimengung. Nur in der Anoplophora-Bank (B11) und der Antrakonit-Bank (B13) übersteigt der Calcitgehalt den des Dolomits bei weitem. 15 Proben des Gesamtprofils enthalten nur Dolomit als Karbonat und zwar die Steinmergelbank A10 und die Engelhofer Platte (A16), sowie die Proben des Mittleren Gipshorizontes

(A17 bis A26), der Bleiglanzbank (A27), der Grundgipsschichten (B5, B6) und des Trigonodus-Dolomits (B19).

Als Körnerpräparate konnten die Karbonate in den Fraktionen der nicht mit Säure behandelten Proben mikroskopisch untersucht werden. Hier ergibt sich ein deutliches Maximum des Karbonatanteils in der Fraktion 6,3 - 20 µ Durchmesser. Die Körner liegen z.T., insbesondere aber in den Lösungsrückständen der Grundgipsschichten, als leicht gerundete Rhomboeder vor. In den tonreichen Proben sind die Karbonatkörner häufig durch Tonpartikel verunreinigt oder überkrustet, daß sie gerade noch aufgrund ihrer hohen Doppelbrechung erkannt werden können.

### 7.2.6 Akzessorien

Chlorit: In einigen Proben, z.B. im „Hauptsandstein des Lettenkeupers", der aber in der hier untersuchten Probe (B16) nur tonig-siltig ausgebildet ist, kommt über 1 % mikroskopischer Chlorit vor. Dieser wurde an der Lichtbrechung (n = 1,63 - 1,64), an der blaßgrünen Farbe und insbesondere an der sehr niedrigen Doppelbrechung erkannt, wegen der die flach im Präparat liegenden Blättchen isotrop erscheinen. Merkwürdigerweise fehlt mikroskopischer Chlorit im Lösungsrückstand des Lingula-Dolomits, dessen Tonfraktion ja hauptsächlich aus Chlorit besteht. Und so enthalten auch die Proben mit viel Corrensit als Tonmineral wenig oder keinen mikroskopischen Chlorit. Dieser letztere dürfte also als detritischer Bestandteil ins Sediment gelangt sein und

ist damit unabhängig von Chlorit und Corrensit in den Tonfraktionen, da sich diese beiden Minerale nachträglich diagenetisch im Sediment gebildet haben.

Turmalin: Vereinzelte Körner von Turmalin kommen in fast allen Proben vor. Die Kristalle haben meist stengelig säulige Gestalt und zeigen einen leichten Pleochroismus von hellgrün nach blaßgelb. Eine Seite der Körner zeigt meist Endflächen, die andere ist abgestumpft. Teilweise zeigen die Körner auch einen dunkleren Kern. Hin und wieder lagen auch tiefergrüne Turmaline vor, die jedoch keine Endflächen als vielmehr die Gestalt rundlicher Körner zeigten. Ob es sich bei den hellgrünen Individuen um Neubildungen handelt, konnte wegen des spärlichen Vorkommens und der geringen Größe der Kristalle weder behauptet noch widerlegt werden.

Zirkon: Selten auftretende, vollkommen gerundete, hochdoppel- und lichtbrechende Körner wurden als Zirkone angesprochen.

Opake Körner: In einigen Proben des Unteren Keupers findet sich gehäuft Pyrit. Im sog. Unteren Zwischenmittel (B12) beträgt der Anteil an den Fraktionen >6,3 µ ca. 3o Kornprozent. Die Körner sind besonders in der Fraktion 20 - 63 µ als scharf begrenzte Würfel, z.T. auch als Oktaeder ausgebildet, die im Auflicht die charakteristische gelbe Reflexionsfarbe zeigen. Die Antrakonit-Bank (B13) und der Vitriolschiefer (B18) enthalten in den oben genannten Fraktionen mindestens je 4 Kornprozent Pyrit, wobei im letzteren vorwiegend rundlich bis längliche Aggregate vorliegen.

Von den Proben des Gipskeupers enthält nur die Probe B4 (oberhalb der Grundgipsschichten) einen nennenswerten Pyritgehalt von 4 Kornprozent in den mikroskopischen Fraktionen. Im übrigen Gipskeuper überschreitet der Pyrit niemals 1 Kornprozent. Die meisten Proben, insbesondere die rotgefärbten sind pyritfrei.

Nach den röntgenographischen Untersuchungen (7.1.5) bildet Haematit das Pigment der rotgefärbten Proben. Wie bereits unter Aggregate (7.2.1) erwähnt, gibt er sich gelegentlich auch unter dem Mikroskop zu erkennen.

## 8 Untersuchungen an Gesamtgesteinen

### 8.1 Bestimmung der Karbonate

Der Karbonatgehalt wurde zunächst im Groben durch die Bestimmung des Gesamt-$CO_2$ nach Scheibler erfaßt ( vgl. MÜLLER, 1964). Um genauere Angaben über das Vorkommen von Dolomit und Calcit zu erhalten, wurden außerdem Ca und Mg durch komplexometrische Titration bestimmt. In den gipshaltigen Proben wurde diese Bestimmung am unlöslichen Rückstand vorgenommen. Die Ergebnisse wurden auf Dolomit und Calcit umgerechnet und sind in Tabelle 5 wiedergegeben. Sie laufen im Großen und Ganzen parallel zu den röntgenographisch an den Gesamtproben durchgeführten Karbonatidentifikationen. Der Vergleich zeigt, daß im allgemeinen noch 5% Calcit neben Dolomit röntgenographisch nachweisbar sind. Jedoch kann dies

Tabelle 5 Gehalte an salzsäureunlöslichem Rückstand und Karbonaten nach komplexometrischer Titration.
G : gipshaltige Probe;
S : Gesamtkarbonatgehalt nach Scheibler (vgl. 8.1)
Calc.: Calcitgehalt Dolo.: Dolomitgehalt
Angaben in Gewichtsprozenten.

| Probe | Calc. | Dolo. | Unlösl. Rückst. | Probe | Calc. | Dolo. | Unlösl. Rückst. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | - | 0,9 | - | A24 | - | 5,5 | 91,2 G |
| A1 | 1,0 | 0,4 | - | A26 | 21,2 S | | 56,5 G |
| A2 | 0,4 | 30,1 | 69,6 | A27 | 69,0 S | | 13,9 G |
| A3 | 1,0 | 30,9 | 68,1 | B1 | 1,9 | 26,0 | 72,1 |
| A4 | 1,5 | 36,7 | 61,8 | B2 | 7,1 | 25,5 | 67,5 |
| A5 | 1,7 | 16,8 | - | B3 | 4,8 | 60,1 | 35,1 |
| A6 | 1,2 | 8,0 | - | B4 | 32,0 | 33,2 | 34,8 |
| A7 | 3,7 | 31,0 | 65,3 | B5 | 19,5 S | | 33,0 G |
| A9 | 1,8 | 7,0 | - | B6 | 18,2 S | | 76,6 G |
| A10 | - | 76,0 | 24,0 | B7 | 21,1 | 39,1 | 39,8 |
| A11 | 5,7 | 7,0 | - | B8 | 1,7 | 26,6 | - |
| A12 | 8,7 | 11,4 | 79,9 | B9 | 35,5 | 44,5 | 20,0 |
| A13 | 11,0 | 7,7 | 81,3 | B10 | 5,5 | 24,5 | 70,0 |
| A14 | 9,2 | 6,5 | - | B11 | 53,5 | 5,0 | 41,5 |
| A15 | 4,8 | 20,5 | - | B12 | 3,0 | 7,4 | 89,6 |
| A16 | - | 66,4 | 33,6 | B13 | 77,3 | 1,3 | 21,4 |
| A17 | 21,9 S | | - G | B14 | 0,7 | 0,9 | - |
| A18 | 14,2 S | | 60,7 G | B15 | 2,0 | - | - |
| A19 | - | 0,4 | 58,2 G | B16 | 1,1 | - | - |
| A20 | - | 7,4 | 78,3 G | B17 | 4,0 | 0,9 | - |
| A21 | - | 3,0 | 65,5 G | B18 | 1,0 | 3,7 | - |
| A22 | - | 13,5 | 59,8 G | B19 | - | 87,6 | 12,4 |
| A23 | - | 18,7 | 92,1 G | | | | |

etwas hoch erscheinende Nachweisgrenze für Calcit damit zusammenhängen, daß ein Teil des analytisch bestimmten Calciums nicht stöchiometrisch im Dolomit vorliegt.

Aufgrund der beobachteten Intensität und der Schärfe der Überstrukturlinien (vgl. LIPPMANN, 1967) sollte der Dolomit in den harten Bänken (A10, Engelhofer Platte, Bleiglanzbank, Bochinger Bank, Trigonodus-Dolomit), wo er das einzige Karbonatmineral bildet, ziemlich genau der Formel $CaMg(CO_3)_2$ entsprechen. Dieses wird durch die titrimetrischen Werte bestätigt. Eine Ausnahme bildet die Bochinger Bank, bei der ca. 5% $CaCO_3$ unter der röntgenographischen Nachweisempfindlichkeit zu liegen scheinen.

Eine deutliche Abweichung in Richtung auf Ca-Überschuß läßt sich nur in den Proben B4 und B10 (Oberes Zwischenmittel) aus der Lage der stärksten Dolomitlinie bei 2,90 Å (gegenüber 2,89 Å für stöchiometrischen Dolomit) sowie aus geringeren Intensitäten der Überstrukturlinien erschließen. Diese Proben enthalten neben Dolomit deutlich Calcit, was auch für den Lingula-Dolomit zutrifft. Beim letzteren wird eine leichte Abweichung des Dolomits vom idealen Ordnungszustand durch etwas geringere Intensitäten der Überstrukturlinien angezeigt. Diese Proben bestätigen also die von FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT (1965) angenommene Gesetzmäßigkeit, daß Dolomite hauptsächlich bei Zusammenvorkommen mit Calcit einen Ca-Überschuß zeigen.

## 8.2 Zusätzliche Aufbereitungsversuche

Am Schluß des Kapitels unter Aggregate (7.2.1) wurde bereits erwähnt, daß die Korngrößenverteilungen, wie sie in der vorliegenden Untersuchung nach etwa 50-stündigem Schütteln in ca. 0,01 n $NH_3$ bestimmt wurden, stark von der primären Korngrößenzusammensetzung bei der Sedimentation abweichen, weil die Aggregate, die jetzt den Hauptteil der groben Kornklassen bilden, überwiegend aus sehr feinkörnigen Tonmineralen bestehen. Diese wurden wenigstens zum Teil durch die Kompaktion und vielleicht auch unter dem Einfluß von Tonmineralneu- und -umbildungen dermaßen verfilzt, daß sie sich bei der normalen schonenden Aufbereitung nicht in Primärteilchen zerlegen lassen.

Zur Bestätigung dieser Vorstellung wurden an der Probe A14, die von allen hier untersuchten Proben den größten Anteil (85%) an Aggregaten enthält, zusätzliche Aufbereitungsversuche vorgenommen. Nach Behandlung mit $H_2O_2$ nimmt der Kornanteil $> 630\,\mu$, der fast nur aus Aggregaten besteht, tatsächlich gegenüber der normalen Aufbereitung (0,01 n $NH_3$, 50-stündiges Schütteln) ab, und die feineren Fraktionen, insbesondere $< 2\,\mu$ Durchmesser nehmen zu (Abb. 7). Ein ähnlicher Effekt ließ sich auch durch fünfmaliges Befeuchten mit Äthylalkohol und Eintrocknenlassen erreichen. Diese Wirkung beruht wahrscheinlich auf dem Corrensitgehalt der Aggregate. Corrensit quillt nämlich mit Äthylalkohol auf 31 Å (LIPPMANN, 1956), und man kann sich vorstellen, daß die mit dem Quellen und jeweiligen Schrumpfen des Corrensit verbundene Volumenwirkung die Aggregate auflockert und zum Teil zersprengt.

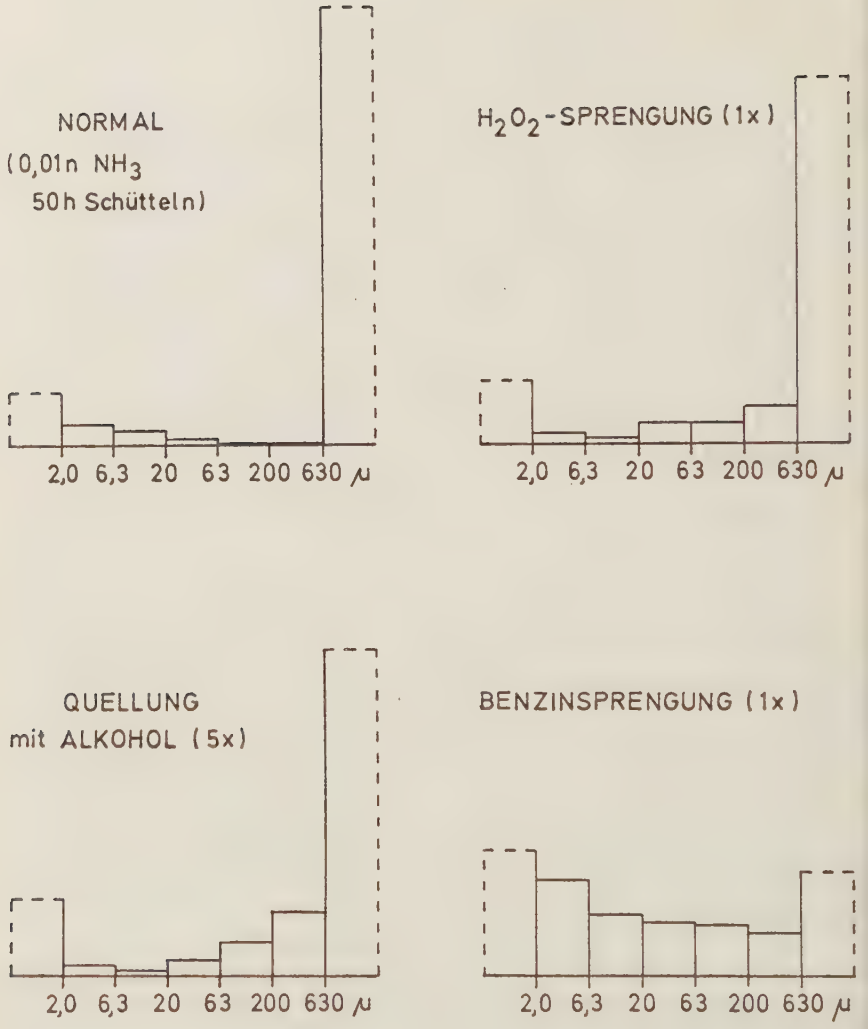



Abb. 7: Ergebnisse der Korngrößenanalysen (in Gew.-%) der Probe A14 nach verschiedener Aufbereitung

Am wirksamsten erwies sich die sog. Benzinsprengung (LAYNE, 1950), die schon nach einmaliger Anwendung eine sehr starke Abnahme der Kornanteile >630 µ Durchmesser und damit der Aggregate ergab (s. Abb. 7).

Es erhebt sich nun die Frage, warum die Benzinsprengung nicht durchweg bei der Aufbereitung angewendet wurde. Ein solches Vorgehen ist jedoch nur dann zu empfehlen, wenn es nur darauf ankommt, möglichst große Mengen feiner Fraktion für die mineralogische Untersuchung auf Tonminerale aus geringen Probemengen zu gewinnen. Gleichzeitig würde man so der primären Kornzusammensetzung des Sediments näher kommen als mit der normalen Aufbereitung. Ob man dieses Ziel jedoch genau erreicht ist fraglich, da einerseits die Korngrößenzusammensetzung der Einzelminerale sicher durch eine gewisse Umkristallisation des Tonmineralbestandes verändert worden ist und andererseits bei einer so energischen Aufbereitungsmethode auch mit einer Zerkleinerung der einzelnen Mineralkörner gerechnet werden muß, etwa mit dem Zerreißen von Phyllosilikatblättchen.

Die Anwendung der normalen schonenden Aufbereitung mit 0,01 n $NH_3$ und 50-stündigem Schütteln bei der vorliegenden Untersuchung kann folgendermaßen gerechtfertigt werden: Einerseits lag genügend Probenmaterial vor, aus dem mit der normalen Methode ausreichende Mengen feiner Fraktionen für die röntgenographische Untersuchung erhalten werden konnte. Andererseits ergibt die Menge der Aggregate ein Maß für die Intensität der Tonmineraldiagenese und der Kompaktion, wenn die Aufbereitung unter einigermaßen reproduzierbaren Bedin-

gungen angewendet wird. Eine energischere Aufbereitung, wie etwa die Benzinsprengung, würde einen derartigen Zusammenhang mehr oder weniger verwischen.

Allerdings scheint die Aggregatbildung nicht nur allein auf der Intensität der Kompaktion zu beruhen, sondern auch auf der Korngrößenzusammensetzung des primär abgelagerten Sedimentes. Wenn man die Aggregate als ursprünglich im wesentlichen der Tonfraktion zugehörig betrachtet, dürfte das primäre Sediment äußerst feinkörnig gewesen sein, da die monomineralischen Körner der gröberen Fraktionen, wie Quarz, Karbonat und Feldspat, nur einen mäßigen Anteil an den Gesamtproben ausmachen. Auf diese Weise ergaben sich mehr Tonmineral-Tonmineral-Kontakte als es in einem Sediment möglich ist, das mehr gröbere Körner enthält und in dem diese gröberen Körner ein Gerüst bilden, das der Kompaktion entgegenwirkt. Es ist nämlich bekannt, daß tonige Sedimente schon bei geringer Versenkung (ca. 2000 m) zu einer fast vollständigen Schließung des Porenraumes neigen, während sandige Sedimente auch in größeren Tiefen noch Porositäten aufweisen können (v. ENGELHARDT, 1960). Das Verhalten der Tone dürfte in erster Linie durch Tonmineral-Tonmineral-Kontakte bedingt sein. Bei der vorwiegend blättchenförmigen Ausbildung der Tonminerale ist nämlich ein innigerer Kontakt denkbar, wenn die Blättchen nicht durch größere Mengen unregelmäßig geformter Körner (z.B. Quarz) an der parallelen Berührung gehindert werden.

## 8.3 Versuche und Folgerungen zu den bodenmechanischen Eigenschaften

Nach den Korngrößenverteilungen, die nach der normalen Aufbereitung bestimmt wurden, sind die Proben, die aufgrund ihrer geringen Karbonatgehalte und überhaupt nach ihrem Erscheinungsbild als tonig bis mergelig anzusprechen sind, äußerst grobkörnig und wären eigentlich den Sanden zuzuordnen, wenn man die erhaltenen Korngrößenanalysen als gegeben hinnimmt und die Aggregate in den Kornfraktionen beläßt, die ihren Gesamtdurchmessern entsprechen. Da sich die Aggregate bei drastischer Aufbereitung in sehr feine Teilchen zerlegen lassen, muß man annehmen, daß eine solche weitergehende Zerlegung auch in der Natur stattfinden kann. Die tonig bis mergeligen Gesteine des Gipskeupers nehmen also eine merkwürdige Zwischenstellung zwischen Sanden auf der einen und Tonen auf der anderen Seite ein. Während sie in ungestörtem, bergfeuchtem Zustand etwa die Festigkeit von stark komprimierten Tonschiefern besitzen, verlieren sie deren Bindigkeit, sobald sie einmal die natürliche Bergfeuchtigkeit verloren haben. Dieses Verhalten ist in natürlichen und künstlichen Aufschlüssen zu beobachten. Insbesondere ist es unmöglich Belegstücke in ihrer ursprünglichen Konsistenz aufzubewahren, da sie beim Austrocknen zerfallen. Es liegt nahe, diese Eigenschaften mit den Gehalten an quellfähigem Corrensit in Verbindung zu bringen. Es lassen sich nämlich andere corrensitfreie tonige Gesteine wie etwa Proben des Dogger $\alpha$ jahrelang als Handstücke aufbewahren.

In bergfeuchten Proben dürfte der Corrensit unter dem Einfluß des Porenwassers auf 32 Å gequollen sein (s.u. 7.1.2). Beim Austrocknen schrumpft der Corrensit auf ca. 29 Å, d.h. um etwa 10% seines bergfeuchten Volumens. Hierbei bilden sich Risse, die zu einer ungleichmäßigen Quellung beim Wiederbefeuchten führen, was ein weiteres Zerfallen der Proben fördert. Daß ein mehrmaliges Austrocknen und Wiederbefeuchten corrensithaltiger Aggregate einen weiteren Zerfall zur Folge hat, wurde unter 8.2 am Beispiel der Probe A14 mit Äthylalkohol gezeigt. Es lag nun nahe, einen derartigen Versuch auf mehrere Proben auszudehnen und hierfür, im Interesse möglichst natürlicher Bedingungen, mit Wasser zu arbeiten. Von den Proben (A2, A4, A7, A14, A19, A20, A23, B1, B12, B14) wurden über 2 cm große Stücke entnommen. Als Vergleichsprobe wurde ein Stück des Dogger $\alpha$ Tones von Frickenhausen hinzugenommen. Diese Proben wurden bei Zimmertemperatur in Porzellanschalen mit Wasser befeuchtet. Nach dem Eintrocknen wurde das Befeuchten jeweils noch neunmal wiederholt. Nach insgesamt zehnmaligem Befeuchten und Austrocknen waren die Proben derartig zerfallen, daß sie Teichen < 1 mm Durchmesser enthielten. Der Prozentgehalt an diesen Teilchen wurde durch vorsichtiges Sieben bestimmt und ist in Abb. 8 gegen den Corrensitgehalt der Probe aufgetragen. Es zeigt sich, daß die Neigung stückiger Proben beim Befeuchten und Austrocknen zu zerfallen im großen und ganzen wie erwartet mit dem Gehalt an Corrensit zunimmt. Abweichungen in Einzelheiten können unter anderem in verschiedenen Karbonatgehalten begründet liegen.

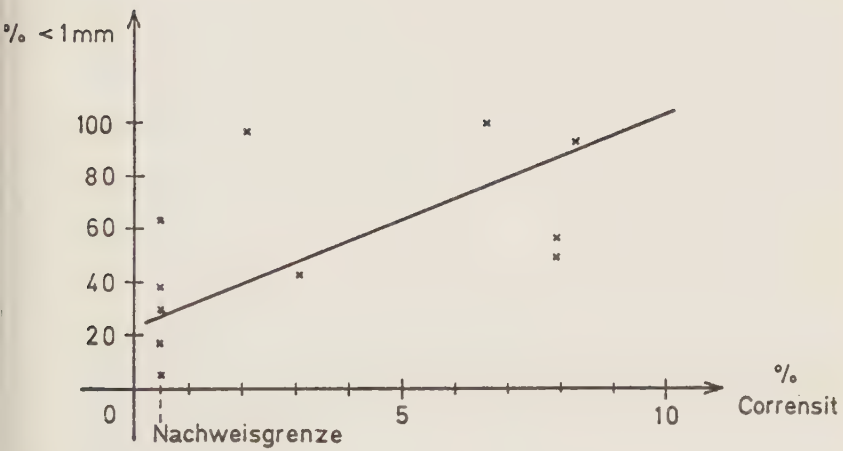



Abb. 8: Gehalte an Korngrößen < 1 mm (in Gew.-%) nach zehnmaligem Befeuchten und Austrocknen für verschiedene tonig-mergelige Proben in Abhängigkeit vom Corrensitgehalt.

Die tonigen bis mergeligen Sedimente des Gipskeupers vereinigen also in sich die bodenmechanischen Nachteile sandiger und toniger Sedimente. Nachdem sie ausgetrocknet sind, zeigen sie die geringe Bindigkeit von Sand, insbesondere nach mehrmaligem Befeuchten und Austrocknen. In feuchtem Zustand neigen sie zum Rutschen, schlimmstenfalls wie unverfestigte Tone, nachdem sie durch mehrmaliges Austrocknen und Befeuchten auf entsprechend geringe Korngrößen zerfallen sind.

Die Sohlhebungen beruhen wahrscheinlich auf der fehlenden Festigkeit des einmal oder mehrmals ausgetrockneten Sediments und auf der Volumenwirkung des Corrensits beim Austrocknen und Wiederbefeuchten. Unter dem Einfluß des Hangenddruckes kann die Volumenwirkung immer nur in Richtung des geringsten Widerstandes wirksam werden, d.h. die im Kleinen reversible Quellung des Corrensits führt zu irreversiblen Verschiebungen in Richtung auf im Gestein befindliche Hohlräume. Beim Vorhandensein eines Hangendgewölbes und beim Fehlen eines Sohlgewölbes kann sich diese Tendenz zur Auffüllung eines Tunnels natürlich nur durch Sohlhebungen bemerkbar machen.

Wie durch die weiter oben beschriebenen Versuche wahrscheinlich gemacht werden kann, fördert der Corrensitgehalt diesen Zerfall. Als quellfähiges Mineral erhöht der Corrensit aber auch die Rutschgefahr in feuchtem Zustand. Als Beispiel kann der von LIPPMANN (1956) im Röt angegebene Waldweg angeführt werden, der einige Jahre später mehr als 5 m längs des Hanges abgerutscht war.

Zusammengefaßt kann gesagt werden, daß die eigenartigen bodenmechanischen Eigenschaften des Gipskeupers sehr

wahrscheinlich auf dem extrem hohen Tonmineralgehalt und dem Fehlen einer genügend großen sandigen Komponente im allgemeinen und auf dem Gehalt an quellfähigem Corrensit im besonderen beruhen dürften. Aufgrund des ermittelten Quellungs- und Schrumpfungsverhaltens dürften Schäden bei Tiefbauarbeiten am ehesten dadurch zu vermeiden sein, daß das Gestein von vornherein soweit wie möglich am Austrocknen gehindert wird.

## 9 Bemerkungen zur Verbreitung und Entstehung des Correnzits

Das untersuchte Profil zeichnet sich dadurch aus, daß von den Grundgipsschichten an aufwärts, d.h. über eine Mächtigkeit von ca. 96 m, immer wieder Corrensit vorkommt. Nach LIPPMANN (1956) tritt das Mineral auch noch oberhalb des Schilfsandsteines auf und zwar in den Unteren Bunten Mergeln. Nach diesem Befund und nach mineralogischen Untersuchungen anderer Autoren (Tabelle 6 und Abbildung 9) könnte man das Mineral als Leitmineral für diese Formationen auffassen. Ein Leitmineral stellt jedoch nur in den seltensten Fällen eine echte Zeitmarke dar, sondern ist fast immer als Faziesindikator zu bewerten; und so kommt Corrensit auch in anderen Horizonten der Trias vor, wie etwa im Röt von Göttingen (LIPPMANN, 1956), Kulmbach und Jena (BECHER, 1965) und im Mittleren Muschelkalk von Catalanien, Spanien (VIVALDI & MacEWAN, 1957). Auch eine eigene kursorische Untersuchung eines Gipslösungsrückstandes aus dem Mittleren Muschelkalk

Tabelle 6 Vorkommen von Correnzit in Perm und Trias (siehe auch Abb. 9)

| Nr. in Abb. 9 | Formation | Fundpunkt | Literatur |
|---|---|---|---|
| 1 | Zechstein (Flöz Staßfurt) | Rayershausen/Göttingen; Bischofferode/Harz | BRAITSCH (1958) |
| 2 | Zechstein (Werraserie) | Hundelshausen; Osterode/Harz | DREIZLER (1962) |
| 3 | Buntsandstein (Röt, mo) | Hünstollen/Göttingen | LIPPMANN (1956, 1957) |
| 4 | Buntsandstein (Röt, mo) | Kulmbach, Bayern | BECHER (1965) |
| 5 | Muschelkalk (mm) | Catalanien, Spanien | VIVALDI & McEWAN (1957) |
| 6 | Keuper (Gipskeuper, $km_1$) | Kulmbach, Bayern | SCHMITZ (1959) |
| 7 | Keuper (Gipskeuper, $km_1$) | Kayh/Herrenberg, Württemberg | LIPPMANN & SAVAŞÇIN (1969) |
| 8 | Keuper (Gipskeuper, $km_1$) | Stuttgart | vorliegende Arbeit |
| 9 | Keuper (Bunte Mergel, $km_3$) | Friedland/Göttingen | JASMUND (1954); ECHLE (1961) |
| 10 | Keuper (Bunte Mergel, $km_3$) | Zaisersweiher/Maulbronn, Württ. | LIPPMANN (1954) |
| 11 | Keuper (in Gipsgestein) | Saint-Affrique, Frankreich | MAUREL (1962) |
| 12a,b | Permo-Trias } in Anhydrit und/ | Marokko, Nordafrika | LUCAS (1962) |
| 13 | Permo-Trias } oder Steinsalz | Sahara, Nordafrika | KÜBLER (1963) |
| 14 | Trias | Malaga, Südspanien | LUCAS (1962) |
| 15 | Trias (in Gipsgestein) | Catalanien, Spanien | LUCAS (1962) |
| 16a-c | Trias (Gestein mit Gips und/oder Anhydrit) | Gebiet um Nantes, Doubs-Tal, Jura, Frankreich | LUCAS (1962) |
| 17 | Keuper (Keuper Marl) | England (Fundpunkt nicht näher bekannt) | HONEYBORNE (1951) |

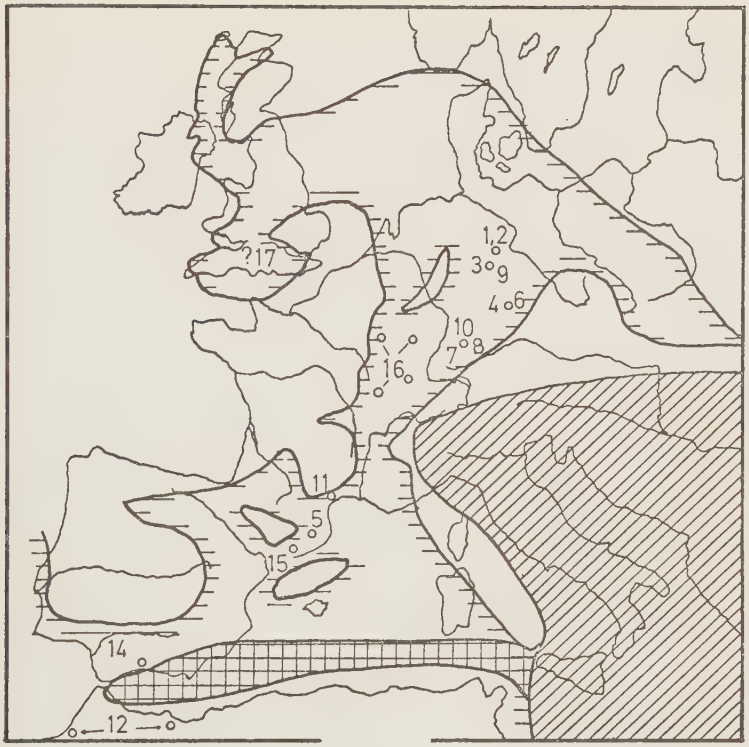



Abb. 9: Europa zur Zeit des Gipskeupers (nach BRINKMANN, 1966). Die bis jetzt bekannten Corrensitvorkommen sind mit den gleichen Ziffern bezeichnet wie in Tabelle 6.

des Salzbergwerkes Stetten/Hohenzollern zeigte schwache Corrensitlinien deutlich oberhalb der Nachweisgrenze.

Da für bestimmte Vorkommen die Entstehung von Corrensit als Verwitterungsprodukt magnesiumhaltiger Gesteine gesichert ist, z.B. aus „Appinit" (hornblendereiches Gestein) (STEPHEN & MacEWAN, 1951), Diabas (GALLITELLI, 1956), Serpentinit (ALLIETTI, 1958) und Chloritschiefer (JOHNSON, 1964), könnte man zunächst für die corrensithaltigen Horizonte in der Trias eine bevorzugte detritische Zufuhr solchen Materials annehmen (LIPPMANN, 1956). Bei der inzwischen bekannt gewordenen großen Ausdehnung der Corrensitvorkommen im Germanischen Triasbecken, und zwar von Spanien über Frankreich und Deutschland nach England (vgl. Abb. 9), erscheint diese Annahme jedoch wenig wahrscheinlich, da solch relativ seltene Gesteine wohl kaum in den Einzugsgebieten der verschiedenen Teilbecken gleichzeitig in genügender Ausdehnung anstehend gewesen sein dürften, insbesondere nicht während der ganzen Zeit vom Zechstein bis zum Keuper, wenn man die Corrensitvorkommen in den Zechsteinsalzen berücksichtigt (BRAITSCH, 1959; DREIZLER, 1961).

Nach dem stetigen Zusammenvorkommen von Corrensit mit salinaren Gesteinen (chloridische Salze, Anhydrit, Gips) wird man für das Mineral zumindest im westeuropäischen Perm-Trias-Becken einen Zusammenhang mit der Salinität annehmen können. Da für den Aufbau des Corrensits aus anderen Tonmineralen die Zufuhr von Magnesium nötig ist und da die Bildung von Evaporiten immer mit einer Konzentration des

Magnesiums durch Eindampfung verbunden ist, erscheint diese Deutung äußerst plausibel. Man kann also Corrensit als Indikator erhöhter Magnesiumkonzentrationen auffassen, insbesondere auch dort, wo es nicht zur Ausscheidung leichter löslicher Magnesiumsulfate und Chloride gekommen ist, wie im Keuper, und dort, wo diese Salze durch Heraushebung an die Tagesoberfläche wieder aufgelöst wurden, wie in anstehenden Zechsteingipsen (DREIZLER, 1961). Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß außer der Magnesiumkonzentration noch zusätzliche Faktoren bei der Corrensitbildung eine Rolle gespielt haben, doch sind diese nach dem jetzigen Stand der Kenntnisse noch unklar. Solche noch unbekannte Faktoren können dazu geführt haben, daß sich bei Magnesiumanreicherung einmal Chlorit, wie z.B. im Lingula-Dolomit, bildet und das andere Mal Corrensit. Eine direkte Abhängigkeit vom Grad der Magnesiumkonzentration scheint nicht vorzuliegen,denn die im Lingula-Dolomit enthaltene Fauna ist nicht mit sehr hohen Magnesiumgehalten in der Lösung in Einklang zu bringen. Da Chlorite im allgemeinen magnesiumreicher sind als Corrensit, sollte sich nämlich Chlorit bei höherer Mg-Konzentration bilden, wenn der Magnesiumgehalt der einzig bestimmende Faktor wäre. Der Chlorit in dem noch verhältnismäßig normal marinen Lingula-Dolomit würde dann auch im Widerspruch stehen zu der Neubildung von Chlorit in Salztonen des Zechsteins (NIEMANN, 1960), für die mit sehr konzentrierten Laugen gerechnet werden kann. Aufgrund dieser Zusammenhänge muß nun geradezu gefordert werden, um den soeben gezeigten Widerspruch aufzulösen, daß bei der Bildung von Chlorit und Corrensit

außer der Magnesiumkonzentration noch weitere jetzt noch unbekannte Faktoren mit im Spiele waren.

Diese Faktoren könnten nun zum Teil auf Unterschieden im ursprünglich abgelagerten Tonsediment zurückgeführt werden. Da aber auch hier der eigentliche Mechanismus noch nicht klar ist, soll im Folgenden lediglich kurz diskutiert werden auf Kosten welcher Tonminerale sich der Corrensit unter Zufuhr von Magnesium gebildet haben könnte. Es fällt zunächst auf, daß die Proben des Unteren Keupers, wie die des Oberen Muschelkalkes (LIPPMANN & SCHLENKER, 1970) Kaolinit enthalten, der im Gipskeuper fehlt. Ein Teil des im Corrensit enthaltenen Si und Al könnte also ohne weiteres aus primär abgelagertem Kaolinit hergeleitet werden, um so mehr als Kaolinit in corrensitfreien Proben des Keupers vorkommt (KULKE, 1969). Außerdem beginnt im Lias mit dem Wiedereinsetzen rein mariner Bedingungen wieder eine gewisse Kaolinitführung.

Der ausschließlichen Bildung von Corrensit auf Kosten des Kaolinits widerspricht folgender Befund: Die mikroskopischen Fraktionen corrensithaltiger Proben enthalten bevorzugt authigene Quarze. Die gleichzeitige Bildung von Quarz und Corrensit ist jedoch nur denkbar, wenn das Aluminium aus $SiO_2$-reicheren Mineralen hergeleitet wird. Als solche kommen Illite mit vermehrter Einlagerung quellfähiger (montmorillonitähnlicher) Schichten in Frage, wie sie außer im Lettenkeuper auch in einigen Proben der A-Serie bestimmt werden konnten (7.1.1). Das bei der Reaktion

Glimmer + Mg-Lösung → Corrensit + K-Lösung

freiwerdende Kalium kann auch in den vorliegenden Proben teilweise zur Bildung von authigenem Kalifeldspat geführt haben, wie es von LIPPMANN & SAVAŞÇIN (1969) gefordert wurde. Jedoch nimmt der authigene Kalifeldspat in den hier untersuchten tonig-mergeligen Proben bei weitem nicht das Ausmaß an wie in den von jenen Autoren untersuchten Gipslösungsrückständen. Wahrscheinlich wurde ein großer Teil des bei der Corrensitbildung freiwerdenden Kaliums in dem quellfähigen Schichtanteil der ursprünglich vorliegenden Illit-Montmorillonit-Wechsellagerung festgelegt. Wenn man von der Vorstellung ausgeht, daß diese letzteren durch Degradierung besser organisierter Muskowite bei der Verwitterung entstanden sind, wurde also ein großer Teil des Kaliums für die „Reparatur" dieser Gebilde verbraucht, ehe Kalium für die Bildung von Kalifeldspat zur Verfügung stand. Auf diese Weise kann erklärt werden, daß quellfähige Schichten im Illit im vorliegenden Profil nur in corrensitfreien Proben nachgewiesen werden konnten.

Ein Bild von der Geschwindigkeit der diskutierten Tonmineralumwandlungen erhält man, wenn man die Rückstände der Karbonat-, insbesondere der Dolomitbänke betrachtet. Alle Typen der hier gefundenen Tonmineralparagenesen kommen in den Lösungsrückständen von Dolomitbänken vor. Da Tonminerale in nennenswertem Ausmaß nur dann mit irgendwelchen Lösungen reagieren können, solange das Gestein gut durchlässig ist, muß geschlossen werden, daß der jetzt vorliegende Tonmineralbestand zur Zeit der Verfestigung der Karbonatbänke fertig

vorlag. Die Umwandlungen und Neubildungen von Tonmineralen müssen also mit einer Geschwindigkeit abgelaufen sein, die in ihrer Größenordnung der Dolomitisierungsgeschwindigkeit entsprochen hat oder vielleicht größer war als diese letztere.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. W. v. ENGELHARDT, danke ich für die Überlassung dieser Arbeit und für sein stets förderndes Interesse. Herrn Dr. F. LIPPMANN möchte ich für die jederzeit zuteil gewordene Unterstützung und Förderung meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Mein Dank gilt ferner dem Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, der Bundesbahndirektion Stuttgart und der Amtlichen Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart, für die Überlassung des Probenmaterials. Außerdem danke ich den Herren Dr. KRAUSE und Dr. STRÖBEL vom Geologischen Landesamt in Stuttgart für ihre freundliche Unterstützung bei der Probennahme.

## 10 Literatur

ALLIETTI, A. (1958): Some interstrtified clay minerals of the Taro Valley.- Clay Min. Bull. 3, 207 - 211.

BECHER, A. (1965): Eine Tonmineralfolge vom Beckenrand zum Beckeninneren im Buntsandstein von Nordost-Bayern.- Beitr. Miner. Petrogr. 11, 586- 613.

BRAITSCH, O. (1959): Über den Mineralbestand der wasserunlöslichen Rückstände von Salzen der Staßfurtserie im südlichen Leinetal.- Freiberger Forschungshefte A 123, 160 - 165.

BRINKMANN, R. (1966): Abriss der Geologie; Zweiter Band: Historische Geologie.- Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.

DREIZLER, I. (1961): Mineralogische Untersuchungen an zwei Gipsvorkommen der Werraserie (Zechstein).- Beitr. Miner. Petrogr. 8, 323 - 338.

ECHLE, W. (1961): Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten des Steinmergelkeupers und der Roten Wand aus der Umgebung von Göttingen.- Beitr. Miner. Petrogr. 8, 28 - 59.

v. ENGELHARDT, W. (1960): Der Porenraum der Sedimente.- Miner. u. Petrogr. in Einzeldarst. 2, 207. Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.

FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H. (1965): Beziehungen zwisch Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. Geol. Rsch. 55, 29 - 40.

GALLITELLI, P. (1956): Sulla presenza di un minerale a strati misti chlorite-vermiculite („swelling chlorite") nei diabasi di Rossena e Campotrera nell'Appennino emiliano.- Rend. Acc. Naz. Lincei 21, 146 - 154.

HELING, D. (1963): Zur Petrographie des Stubensandsteins.- Beitr. Miner. Petrogr. 9, 251 - 284.

HELING, D. (1965): Zur Petrographie des Schilfsandsteins.- Beitr. Miner. Petrogr. 11, 272 - 297.

HONEYBORNE, D.B. (1951): The clay minerals in the Keuper Marl.- Clay Min. Bull. 1, 150 - 155.

JASMUND, K. (1954): in SCHNEIDERHÖHN, P., Exkursionsführer Umgebung Göttingen, IV. Internat. Sedimentolog.-Tg., Göttingen.

JOHNSON, L.J. (1964): Occurrence of regularly interstratified Chlorite-vermiculite as a weathering product of chlorite in a soil.- Amer. Miner. 49, 556 - 572.

KHARKWAL, A.D. (1959): Über den Mineralbestand des Göttinger Lias.- Beitr. Mineral. Petrogr. 7, 45 - 62.

KODAMA, H. & OINUMA, K. (1963): Identification of Kaolin Minerals in the presence of chlorite by X-ray Diffraction and Infrared Absorption Spectra.- Clays and Clay Minerals 13, 236 - 249, Pergamon Press.

KROMER, H. (1963): Untersuchungen über den Mineralbestand des Knollenmergel-Keupers in Württemberg.- Diss. Univ. Tübingen.

KÜBLER, B. (1963): Untersuchungen über die Tonfraktion der Trias der Sahara.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 10, 319 - 324.

KULKE, H. (1969): Petrographie und Diagenese des Stubensandsteines (mittlerer Keuper) aus Tiefbohrungen im Raum Memmingen (Bayern).- Contr. Miner. and Petrol. 20, 135 - 163.

LAYNE, N.M. (1950) zitiert nach MÜLLER, A.H.: Lehrbuch der Paläozoologie. Band I: Allgemeine Grundlagen.- Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1963

LINCK, O. (1968): Die marine Muschelfauna des Schilfsandsteins von Eberstadt, Württemberg, (Trias, Karn, Mittl. Keuper 2) und deren Bedeutung.- Jh. Ver. Vaterl. Naturkde. Württemberg 123, 69 - 133.

LIPPMANN, F. (1954): Über einen Keuperton von Zaisersweihe bei Maulbronn.- Heidelb. Beitr. Miner. u. Petrogr. 4, 130 - 134.

LIPPMANN, F. (1956): Clay minerals from the Röt member of the Triassic near Göttingen, Germany.- J. Sed. Petr. 26, 125 - 139.

LIPPMANN, F. (1957): Die Tonminerale des Göttinger Röt.- Fortschr. Miner. 35, 28 - 30.

LIPPMANN, F. (1959): Correnšit.- In Hintze-Chudoba, Handbuch Mineralogie, Erg. Bd. II, 688 - 691.

LIPPMANN, F. (1967): Die Synthese des Norsethit, $BaMg(CO_3)$ bei ca. 20° und 1 at. Ein Modell zur Dolomitisierung.- N. Jb. Miner. Mh. 1, 23- 29.

LIPPMANN, F. & JOHNS, W.D. (1969): Regular Interstratification in Rhombohedral Carbonates and Layer Silicates.- N. Jb. Miner. Mh. 5, 212 - 221.

LIPPMANN, F. & SAVAŞÇIN, M.Y. (1969): Mineralogische Untersuchungen an Lösungsrückständen eines württembergischen Keupergipsvorkommens.- Tschermaks Miner. u. Petrogr. Mitt. 13, 165 - 190.

LIPPMANN, F. & SCHLENKER, B. (1970): Mineralogische Untersuchungen am Oberen Muschelkalk von Haigerloch (Hohenzollern).- N. Jb. Miner. Abh. 113, 68 - 90.

LUCAS, J. (1962): La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du trias.- Uni. de Strasbourg, Mém. Serv. d.l. Carte géol. d'Alsace-Lorraine. No 23.

MAUREL, P. (1962): Étude Minéralogique et Géochimique des Formations Argileuses des Environs de Saint-Affrique (Aveyron).- Bull. Soc. franç. Minér. Crist. 85, 329 - 374.

MÜLLER, G. (1964): Sediemnt-Petrologie Teil I, Methoden der Sediment-Untersuchung.- Stuttgart: Schweizerbart.

NIEMANN, H. (1960): Untersuchungen am Grauen Salzton der Grube „Königshall-Hindenburg", Reyershausen bei Göttingen.- Beitr. Miner. Petrogr. 7, 137 - 165.

SALGER, M. (1965): Zur Petrographie des Schilfsandsteins.- Geologica Bavaria 55, 169 - 178.

SCHMITZ, H.H. (1959): Über die mineralogische Zusammensetzung des unteren Gipskeupers nach einem Bohrprofil.- Geol. Jb. 77, 59 - 94.

STEPHEN, I. &MacEWAN, D.M.C. (1951): Chloritic minerals of an unusual type.- Clay Min. Bull. 1, 157 - 162.

THÜRACH, H. (1889/90): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleich zu den benachbarten Gebieten.- Geogn. Jh. 1.

VIVALDI, J.L.M. &MacEWAN, D.M.C. (1957): Triassic chlorites from the Jura and the Catalan coastal range.- Clay Min. Bull. 3, 177 - 183.

VOLLRATH, A. (1959): Geologischer Überblick.- In Erläuterungen zur Geologischen Karte von Stuttgart und Umgebung. 1 : 50 000. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 21 - 89.

WAGNER, G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte.- Verlag der Hohenlohe'schen Buchhandlung f. Rau, Öhringen.

WURSTER, P. (1964): Geologie des Schilfsandsteins.- Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg 33, 1 - 140.

# L E B E N S L A U F

Am 24. Januar 1942 wurde ich als zweites Kind des Elektroingenieurs Kurt Schlenker und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Lüdicke, in Berlin geboren. Die Grundschule besuchte ich ab Herbst 1948 in Berlin-Wilmersdorf. Nach einem Wohnungswechsel meiner Eltern trat ich im Jahr 1956 in das Schickhardt-Gymnasium in Stuttgart ein, wo ich auch im Februar 1963 das Abitur machte. Von April 1963 bis März 1965 leistete ich meinen Wehrdienst in der Bundeswehr ab.

Im Sommersemester 1965 begann ich mit dem Studium der Mineralogie an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen. Im Februar 1967 absolvierte ich die Vorprüfung zur Diplomprüfung in Mineralogie.

Am Mineralogischen Institut der Universität Tübingen fertigte ich ab Juli 1967 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. W. v. ENGELHARDT eine Diplomarbeit: „ Mineralogische Untersuchungen am Oberen Muschelkalk von Haigerloch (Hohenzollern)". Die Diplomprüfung legte ich im November 1968 ab.

Im Dezember 1968 begann ich auf Anregung der Herren Prof. Dr. W. v. ENGELHARDT und Dr. F. LIPPMANN mit meiner Dissertation „Petrographische Untersuchungen am Gipskeuper und Lettenkeuper von Stuttgart". Die Untersuchungen dazu beendete ich im Januar 1970.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Doktoren:

in Mineralogie: BAYH, DACHS, v.ENGELHARDT, LIPPMANN, PUCHELT, WEISKIRCHNER

in Geologie: EINSELE, LODEMANN, SCHÖNENBERG, SEILACHER

in Chemie: BUES, E. MÜLLER, RÜDORFF

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 51
Telefon 295681

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 51
Telefon 295681